

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Talonrakennustekniikka

2018

Kaj Vorselman

MYYMÄLÄ- JA VARASTORAKENNUKSEN LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU JA MITOITUS

Ylöjärven Puu Oy

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri | Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta | 42 + 235

Työn ohjaaja: Olli Hautaniemi

Kaj Vorselman

MYYMÄLÄ- JA VARASTORAKENNUKSEN LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU JA MITOITUS

Ylöjärven Puu Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kuvata Ylöjärven Puu Oy:n uuden myymälä- ja varastorakennuksen liimapuurungon suunnittelua ja mitoitusta. Työ tehtiin Late-Rakenteet Oy:lle, ja työn lähtökohtana olivat Insinööritoimisto Markku Posti Oy:ltä saadut pääpiirustukset. Kohteen pääsuunnittelijana toimi Markku Posti Insinööritoimisto Markku Posti Oy:stä, ja kohteen liimapuurungon vastaavana suunnittelijana toimi Sumu Puhakainen SumuPlan Oy:stä. Runko mitoitettiin Eurokoodi 5:n mukaan.

Liimapuurunko toteutettiin pilari-palkkiratkaisulla. Pääkannattajina toimivat harjapalkit ja mastopilarit. Rungon jäykistys hoidettiin rakennuksen leveyssuunnassa mastopilareilla ja pituussuunnassa, keskikaistaleella päädyn mastopilareilla ja reunakaistaleilla seinän tuulisiteillä. Rakennusta kuormittavat pääsääntöisesti rakenteen omapaino, lumi sekä tuuli.

Opinnäytetyön tuloksena ovat rakennepiirustukset ja niihin kuuluvat rakennelaskelmat. Piirustukset tehtiin käyttäen AutoCAD LT 2015-ohjelmaa. Mitoitukset tehtiin suurimmaksi osaksi käsin käyttäen Mathcad-ohjelmaa ja kevyet päätypalkit mitoitettiin käyttäen PupaX5-mitoitusohjelmaa.

ASIASANAT:

liimapuu, harjapalkki, mastopilari, rakennesuunnittelu, rakennustekniikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Structural Engineering

Completion year of the thesis | 42 + 235

Instructor: Olli Hautaniemi

Kaj Vorselman

DESIGN AND DIMENSIONING OF A GLULAM FRAME FOR A STORE AND WAREHOUSE BUILDING

Ylöjärven Puu Oy

The objective of this thesis was to design and dimension a glulam frame for Ylöjärven Puu Oy's new store and warehouse building. The project was commissioned by Late- Rakenteet Oy and the starting point for the project was the primary drawings from Insinööritoimisto Markku Posti Oy. Markku Posti from Insinööritoimisto Markku Posti Oy was the principal designer of the project and Sumu Puhakainen from SumuPlan Oy acted as a responsible designer for the glulam frame. The frame was designed in compliance with Eurocode 5.

The glulam frame was carried out as a post and beam frame construction. The main supports for the construction are double tapered beams that are supported on rigid posts. The stiffening of the frame widthwise direction of the building was carried out with stiff posts, and to the lengthwise direction, with stiff posts on the center block and with wind braces in the walls on the edge strips. The main loads for the structure are the weight of the structure itself, snow and wind.

The results of the thesis are the structural drawings for the glulam frame and the included structural calculations. The drawings were made using AutoCAD LT 2015. The structural calculations were made mostly by hand using Mathcad and the light-end beams were dimensioned using PupaX5 design program.

KEYWORDS:

glulam, double tapered beam, rigid post, structural design, structural engineering

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	8
2 LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU	9
3 KUORMAT	11
3.1 Pysyvät kuormat	11
3.2 Muuttuvat kuormat	11
3.2.1 Tuulikuorma	12
3.2.2 Lumikuorma	13
4 RAKENNESUUNNITTELU	16
4.1 Mitoitusmenetelmät	16
4.1.1 Murtorajatila	16
4.1.2 Käyttörajatila	16
4.1.3 Palotilanne	18
4.1.4 Kuormitusyhdistelmät	19
4.2 Materiaaliominaisuudet	21
4.2.1 Liimapuu	21
4.2.2 Teräs	23
4.3 Liimapuurungon mitoitus	23
4.3.1 Harjapalkki	23
4.3.2 Kevyet päätypalkit	32
4.3.3 Mastopilari	32
4.3.4 Mastopilarin liitos perustuksiin	37
4.3.5 Pilari-palkkiliitokset	38
4.3.6 Rungon jäykistys	38
5 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

- Liite 1. Insinööritoimisto Markku Posti Oy:n pääpiirustukset
- Liite 2. LP-runkokaavio pohja- ja leikkauskuva
- Liite 3. LP-liitokset perustuksiin
- Liite 4. LP-rungon yläliitosdetaljit
- Liite 5. Kuormien laskenta
- Liite 6. Harjapalkki: LP1
- Liite 7. Harjapalkki: LP2
- Liite 8. Harjapalkki: LP3
- Liite 9. Harjapalkki: LP4
- Liite 10. Tasakorkea palkki: LP5
- Liite 11. Kevyt päätypalkki: LP6
- Liite 12. Kevyt päätypalkki: LP7
- Liite 13. Mastopilarikehä 1: P1
- Liite 14. Mastopilarikehä 2: P2
- Liite 15. Mastopilarikehä 3: P3, P4 & P5
- Liite 16. Mastopilarikehä 4: P11
- Liite 17. Nurkkapilari: P6
- Liite 18. Tasoerokohdan pilari: P7
- Liite 19. Päädyn mastopilarit: P8, P9 & P10

KAAVAT

Kaava 1. Kokonaistuulikuorman laskenta voimakertoimilla.	12
Kaava 2. Seinälle vaikuttava tuulikuorma.	12
Kaava 3. Katon lumikuorma.	13
Kaava 4. Kinostumispituuden laskentakaava.	14
Kaava 5. Korkeampaa osa vastaan oleva katto.	14
Kaava 6. Tuulesta johtuvan muotokeroin.	14
Kaava 7. Taipuman muodostuminen.	17
Kaava 8. Tehollisen hiiltemissyvyyden laskentakaava.	19
Kaava 9. Nimellisen hiiltemissyvyyden kaava.	19
Kaava 10. Murtorajatilan kuormitusyhdistelmä.	21
Kaava 11. Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmä.	21
Kaava 12. Palotilanteen kuormitusyhdistelmä.	21
Kaava 13. Materiaalin kestävyuden mitoitusarvon laskentakaava.	23
Kaava 14. Liimapuun lujuuden mitoitusarvo palotilanteessa.	23
Kaava 15. Taivutusjännityksen laskentakaava.	25
Kaava 16. Vaihtuvakorkuisten palkkien taivutusjännityksen mitoitusehto.	25
Kaava 17. $k_{m,a}$ - kertoimen laskentakaava.	25
Kaava 18. Taivutusjännityksen korotuskerroin harjapalkille.	26
Kaava 19. Harjan taivutusjännityksen mitoitusehto.	26
Kaava 20. Harjavyöhykkeen syysuntaan kohtisuoran jännityksen mitoitusehto.	26
Kaava 21. Poikittaisen vetolujuuden kokonaisvaikutuskerroin.	27
Kaava 22. k_p -kertoimen laskenta harjapalkille.	27
Kaava 23. Harjan syysuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys.	28
Kaava 24. Leikkausjännityksen laskentakaava.	28

Kaava 25. Yhdistetyn poikittaisen veto- ja leikkausjännitysten mitoitusehto.	28
Kaava 26. Tasaisesti kuormitetun palkin leikkausvoiman pienentäminen.	29
Kaava 27. Syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen mitoitusehto.	29
Kaava 28. Tukipainekerroin.	29
Kaava 29. Atraihelan liimasauvan tartuntalujuus.	30
Kaava 30. Palkin kiepahduskestävyyden mitoitusehto.	30
Kaava 31. Palkin suhteellinen hoikkuus.	31
Kaava 32. Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys.	31
Kaava 33. Kiepahduskertoimen määrittäminen.	31
Kaava 34. Symmetrisen harjapalkin taipuma-arvion kaava.	32
Kaava 35. Harjapalkin korkeus h_e .	32
Kaava 36. Lisävaakavoima rakennuksen lyhemmassa suunnassa.	33
Kaava 37. Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen mitoitusehdot.	34
Kaava 38. Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen mitoitusehdot, kun taivutusta ainoastaan poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa.	35
Kaava 39. Nurjahduskestävyyden mitoitusehto poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa.	35
Kaava 40. Nurjahduskestävyyden mitoitusehto poikkileikkauksen heikommassa suunnassa.	35
Kaava 41. Nurjahduskertoimen laskentakaava.	35
Kaava 42. k_y -luvun laskentakaava.	36
Kaava 43. Poikkileikkauksen y-akselin suhteen laskettu muunnettu hoikkuusluku.	36
Kaava 44. Poikkileikkauksen y-akselin suhteen laskettu hoikkuusluku.	36
Kaava 45. Kiepahduksen mitoitusehto, kun momentin ja puristusvoiman yhdistelmä vaikuttaa.	37
Kaava 46. Mastopilarin taipuma yläpään pistekuormille.	37
Kaava 47. Mastopilarin taipuma tasaisille kuormille.	37
Kaava 48. Lisävaakavoima rakennuksen pidemmassä suunnassa.	38

KUVAT

Kuva 1. taipumien muodostuminen.	17
Kuva 2. Jännöspojkkileikkauksen ja tehollisen poikkileikkauksen määrittäminen.	18
Kuva 3. Harjavyöhykkeen tilavuus.	27
Kuva 4. Mastopilarikehän lisävaakavoimat.	33
Kuva 5. Sauvan akselit.	34
Kuva 6. Lisävaakavoima pidemmassä suunnassa, päädyn mastopilarit.	38
Kuva 7. Kiepahdusvoiman laskenta palkille.	39
Kuva 8. Diagonaaleilla jäykistetyt kentän periaate.	40

TAULUKOT

Taulukko 1. Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvot, kun L on jänneväli ja H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus.	18
Taulukko 2. Kuormien yhdistelykertoimet.	20
Taulukko 3. Kuormakerroin K_{FI} eri seuraamusluokissa.	20
Taulukko 4. Liimapuun lujuuksien ominaisarvot eri lujuusluokille. Yksikkö N/mm ² .	22

Taulukko 5. Tasaisesti kuormitetun harjapalkin mitoittavan poikkileikkauksen sijainti.	24
Taulukko 6. Mastopilarien kuormitustapaukset.	33

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kuvata Ylöjärven Puu Oy:n uuden myymälä- ja varastorakennuksen liimapuurungon suunnittelua ja mitoitusta. Kohteen tilasi Late-Rakenteet Oy:ltä SP-Elementit Oy, ja sen sijoituspaikka on Ylöjärvellä. Kohteen pääsuunnittelijana toimii Markku Posti Insinööritoimisto Markku Posti Oy:stä. Liimapuurunko on suunniteltu Insinööritoimisto Markku Posti Oy:n laatimien pääpiirustusten pohjalta. Kohteen liimapuurungon vastaavana suunnittelijana toimii Sumu Puhakainen SumuPlan Oy:stä.

Rakennuksen liimapuurunko toteutetaan pilari-palkkijärjestelmällä, ja pääkannattajina toimivat liimapuiset harjapalkit sekä mastopilarit. Rakennuksen päämitat ovat 24,7 x 80,3 metriä ja rungon korkeus 8 metriä. Pääkannattajien kehäjako vaihtelee 9–6,8 metriin. Pääkannattajien lisäksi runko sisältää kevyet päätypalkit, päädyn tuulipilarit sekä seinän jäykistysristikot.

Liimapuurunko on mitoitettu voimassa olevien normien mukaan ja mitoituksessa on käytetty Eurokoodi 5 -suunnittelustandardia sekä Suomen kansallisia liiteitä. Suunnittelussa on seurattu Suomen rakennusinsinöörien Liito RIL ry:n julkaisemia ohjeita.

Liimapuurunko on mitoitettu laskemalla käsin käyttäen Mathcad Prime 3.1-laskuohjelmaa. Kevyet moniaukkoiset päätypalkit on mitoitettu käyttäen PupaX5-palkin laskentaohjelmaa. Mastopilarien liittyminen perustuksiin on mitoitettu Late-Rakenteet Oy:n pyramidikenkien mitoitusohjelmalla. Kuvat on piirretty AutoCAD LT 2015-ohjelmalla.

2 LIIMAPUURUNGON SUUNNITTELU

Kohde on Ylöjärvelle tuleva Ylöjärven Puun uusi myymälä ja varastorakennus. Rakennus on suorakaiteen muotoinen ja päämitat ovat 24,694 x 80,294 metriä. Rakennuksesta yli puolet on lämmintä myymälätilaa ja loput tilasta puolilämmintä varasto- ja sahaustilaa. Linjalla 5, missä lämmin myymälätila vaihtuu puolilämpimäksi varastotilaksi, on tontin maaperästä johtuva kahden metrin tasoero. Rakennuksen korkeus myymäläosassa on 8 metriä ja varasto-osassa 7,2 metriä.

Liimapuurunkoon kuuluvat harjapalkit, kevyet päätypalkit, mastopilarit, nurkkapilarit ja päädyn tuulipilarit. Tilaukseen kuuluu perustusliitoksen mahdollistavat pyramidikengät sekä rungon jäykistyksen suunnittelu ja siihen tarvittavat teräsosat. Rakennuksen tulee tarvittaessa täyttää 30 minuutin palonkestovaatimus.

Liimapuurunko toteutetaan pilari-palkkijärjestelmällä. Rungon pääkannattajina toimivat liimapuiset harjapalkit ja mastopilarit. Harjapalkkien jänneväli on 24 m, ja maksimipalkkijako on 9 m. Harjapalkkeja on yhteensä 8 kappaletta, ja kevyitä päätypalkkeja on 8 kappaletta. Pääpiirustuksissa kattokaltevuudeksi oli määritelty 1:16, mutta katon kaltevuudeksi määräytyi 1:20, koska loivemmalla kattokaltevuudella harjapalkkien harjan korkeus jää kahteen metriin ja näin välttyään yli kahden metrin korkuisten harjapalkkien korkeammista valmistuskustannuksista. Kustannuksia voitiin säästää myös varasto-osan linjoilla 2–3. Muualla rakennuksessa ei haluttu muuttaa runkotolppien jakoa, jotta pilarit eivät tule hyllyjärjestelmän tielle. Linjoilla 2–3 voitiin kuitenkin käyttää keskipilareita, koska siihen kohtaan tulevat väliseinät ja keskipilarit eivät olleet tiellä, kun ne sijoitettiin väliseinien kohdalle. Keskipilareita käyttämällä saatiin pienennettyä palkkikokoa huomattavasti näillä linjoilla.

Rakennuksen kehän suuntainen jäykistys toteutetaan mastopilareilla. Pituussuunnassa rakennuksen jäykistys toteutetaan keskikaistalla päätyjen mastopilareilla ja reunakais-toilla seinän vinositeillä. Kattorakenne toimii palkkien kiepahdustukena ja siirtää kaikki kattotason kuormat jäykistäville rakenteille. Kattorakenteella tarkoitetaan rungon päälle tulevaa kantavaa rakennetta, esim. profiilipelti, puuelementti, kevytelementti, paikalla tehty orsitus yms. Tässä kohteessa kattorakenne toteutetaan puuelementeillä. Myymäläosan kattoelementit ovat 3-aukkoisia ja varasto-osan elementit ovat 2-aukkoisia. Kattoelementtien jatkuvuudesta aiheutuva kuormien epätasainen jakautuminen otetaan huomioon mitoituksessa.

Runko suojataan kosteusrasituksilta lakkaamalla puuosat. Pilareiden alapääät asennetaan betonilattiaa vasten, joten kapillaariveden nousu perustuksista liimapuuhun on otettava suunnittelussa huomioon. Kapillaariveden nousu liimapuuhun estetään pilarien alapään epoksisivelyllä, joka toimii kosteussulkuna. Näkyviin jäävät teräsosat maalataan.

3 KUORMAT

Rakennusta kuormittavat pääsääntöisesti rakenteen omapaino, lumi sekä tuuli. Rakennesuunnittelun tarkoituksena on varmistaa, että rakenne säilyttää tarvittavat luotettavuustasonsa suunnitellun käyttöiän ajan ja että sillä on riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys. Tulipalotilanteessa rakenteen kestävyys tulisi olla riittävä vaaditun ajan. (RIL 201-1-2017, 25.)

Kohteen kuormat on laskettu Suomen Rakennusinsinööriliiton vuonna 2017 julkaiseman RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat -kirjan mukaan (liite 5). Rakenteiden kuormat jaetaan niiden ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin. (RIL 201-1-2017.)

3.1 Pysyvät kuormat

Kuorma, joka vaikuttaa todennäköisesti koko annetun tarkastelujakson ajan ja jonka suuruuden vaihtelu ajan myötä, on pientä tai tapahtuu aina samaan suuntaan tiettyyn raja-arvoon asti, luokitellaan pysyväksi kuormaksi. Pysyville kuormille käytetään tunnusta G. Rakenteen pysyvät kuormat muodostuvat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omasta painosta. (RIL 201-1-2017, 21.)

Kattoelementtien omapaino on $g_{k1.a} = 0,55 \text{ kN/m}^2$ ja ripustuksesta aiheutuva kuorma $g_{k1.b} = 0,15 \text{ kN/m}^2$. Tästä saadaan kattorakenteen omapaino ilman liimapuiden omaa painoa: $g_{k1} = 0,7 \text{ kN/m}^2$. Liimapuun oman painon laskennassa on käytetty tiheytenä $\rho_{\text{mean}} = 430 \text{ kg/m}^3$ (SFS-EN 14080:2013, 24).

3.2 Muuttuvat kuormat

Muuttuvat kuormat ovat kuormia, joiden suuruus vaihtelee ajan myötä. Muuttuvat kuormat koostuvat luonnonkuormista, kuten lumi- ja tuulikuormat, sekä hyötykuormista. Muuttuville kuormille käytetään tunnusta Q. (RIL 201-1-2017, 21.)

3.2.1 Tuulikuorma

Kohteen tuulikuorma on laskettu soveltaen RIL 201-1-2017 -kirjassa esitettyjä ohjeita. Tuulikuorman vaikutusaika on hetkellinen. Laskenta on suoritettu voimakerroinmenetelmällä, jossa tuulenpaine on kaikissa rakennuksen korkeusasemilla harjalla vaikuttava arvo. Kohde sijaitsee alueella, jossa on säännöllinen kasvipeite ja rakennuksia, jotka ovat 20-kertaista korkeuttaan lähempänä kohdetta, joten maastoluokka on III. Rakennuksen korkeuden ollessa 8 metriä saadaan RIL 201-1-2017:n taulukosta 4.2S tuulen puuskanopeuspaineen ominaisarvoksi $q_{p0}(z) = 0,43 \text{ kN/m}^2$. (RIL 201-1-2017, 131, 137.)

Kokonaistuulikuorman F_w laskenta voimakertoimilla saadaan seuraavalla kaavalla:

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0}(h) \cdot A_{ref}, \text{ missä}$$

$C_s C_d$	rakennekerroin
C_f	voimakerroin
$q_{p0}(h)$	tuulennopeuspaine, joka määritetään harjan korkeudella ($q_{p0}(z)$)
A_{ref}	tuulikuorman vaikutusala.

Kaava 1. Kokonaistuulikuorman laskenta voimakertoimilla (RIL 201-1-2017, 140).

Tuulikuorman vaikutusala ei tarvitse huomioida kun, halutaan laskea seinälle vaikuttava tuulikuorma $q_{w,k}$, joten kaava saadaan muotoon

$$q_{w,k} = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0}(h).$$

Kaava 2. Seinälle vaikuttava tuulikuorma.

Tässä kohteessa tuulikuorman vaikutus on jaettu kahteen osaan, tuulenpuoleisen sivun paineeksi ja tuulensuojaisen puolen imuksi. Umpinaisen rakennuksen tuulenpuoleisen sivun voimakertoimena käytetään arvoa 0,8. Tuulensuojan puoleisella sivulla voimakertoimena käytetään pitkällä sivulla arvoa -0,5 ja lyhyellä sivulla arvoa -0,3. Tästä saadaan tuulenpuoleisen sivun tuulenpaineeksi $q_{w,k,a} = 0,344 \text{ kN/m}^2$. Tuulensuojaisen puolen imuksi saadaan pitkälle sivulle $q_{w,k,b} = 0,215 \text{ kN/m}^2$ ja lyhyelle sivulle $q_{w,k,b} = 0,129 \text{ kN/m}^2$. (S. Puhakainen, henkilökohtainen tiedonanto 28.4.2018.)

3.2.2 Lumikuorma

Kohteen lumikuorma on laskettu RIL 201-1-2017:n mukaan.

Lumikuorma luokitellaan kiinteäksi muuttuvaksi kuormaksi. Lumikuorman aikaluokka on keskipitkä.

Kohteen rakennuspaikka sijaitsee Ylöjärvellä, jossa maassa olevan lumikuorman ominaisarvoksi saadaan $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ (RIL 205-1-2017, 209). Maassa olevan lumikuorman arvo perustuu keskimäärin 50 vuoden toistumis- tai ylittymisajan keskimääräiseen vuositaiseen ylittymiseen todennäköisyydellä 0,02 (RIL 201-1-2017, 98).

Katolle mahdollisesti kinostuva lumi on otettava huomioon suunnittelussa. Katolle kinostunut lumi voi aiheutua monista eri tekijöistä, kuten katon muoto, viereisten rakennusten läheisyys, ympäröivä maasto yms. (RIL 201-1-2017, 98.)

Katon lumikuorma saadaan seuraavalla kavalla:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \text{ missä}$$

μ_i	lumikuorman muotokerroin
C_e	tuulensuojauskerroin
C_t	lämpökerroin (yleisesti 1,0)
s_k	lumikuorma maassa, kN/m^2 .

Kaava 3. Katon lumikuorma (RIL 201-1-2017, 98).

Tuulensuojauskerroin määräytyy kohteen maaston mukaan. Normaali maasto, kuten tässä kohteessa, määritetään alueeksi, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta. Tuulensuojauskerroin on normaalitilanteessa $C_e = 1,0$. (RIL 201-1-2017, 98.)

Katon muotokerroin saadaan taulukosta 5.2 (RIL 201-1-2017, 102) katon muodon ja kaltevuuskulman mukaan. Kohteessa katon kaltevuuskulma α on $2,86^\circ$, jolloin harjakaton muotokerroin $\mu_2 = 0,8$, kun $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$. (RIL 201-1-2017, 102.)

Katon lumikuormaksi saatiin $s = 2,0 \text{ kN/m}^2$.

Linjalla 5 oleva tasoero aiheuttaa katolle kinoslunta. Lumen kinostumispituus l_s voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$l_s = 2 \cdot h.$$

Kaava 4. Kinostumispuuden laskentakaava (RIL 201-1-2017, 105).

Tasoerokohdan korkeusero $h = 3$ m, jolloin kinostumispuudeksi saadaan 6 m. Kinostumispuuden vaihteluväli on $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$. Saatu kinostumispuuus on vaihteluvälillä (RIL 201-1-2017, 105).

Korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevan katon lumikuorman muotokerroin $\mu_1 = 0,8$, jos alempi katto on tasakatto, muussa tapauksessa muotokerroin μ_2 saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w, \text{ missä}$$

μ_s ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttama lumikuorman muotokerroin
 μ_w tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin.

Kaava 5. Korkeampaa osa vastaan oleva katto (RIL 201-1-2017, 104).

Liukumisesta johtuva lumikuorman muotokerroin μ_s saa tässä kohteessa arvon 0, kun ylemmän katon kaltevuuskulma $\alpha \leq 15^\circ$ (RIL 201-1-2017, 105).

Tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin määritetään seuraavalla kaavalla:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} < \frac{\gamma h}{s_k}, \text{ missä}$$

h kattojen tasoero
 b_1 ja b_2 rakennuksen osien pituus
 γ lumen tilavuuspaino, jolle voidaan käyttää arvoa 2 kN/m^3 .

Kaava 6. Tuulesta johtuvan muotokerroin (RIL 201-1-2017, 2017, 105).

Tässä tapauksessa kaavalla 6 saatu tuulen aiheuttama muotokertoimen arvo $\mu_w = 13,38$. Tämä arvo ylittää kaavassa määritetyn maksimi-arvon 2,4. Tästä saadaan muotokertoimeksi $\mu_w = 2,4$. Tuulen aiheuttaman muotokertoimelle asetettu vaihteluväli määräytyy alemman katon pinta-alan perusteella. Tässä kohteessa alemman katon pinta-ala on yli

6 m², joten muotokertoimen vaihteluväli on $0,8 \leq \mu_w \leq 2,5$. Saatu muotokerroin on sille määritellyssä vaihteluvälissä. Korkeammalta katolta liukuvan lumen aiheuttama muotokerroin $\mu_s = 0$. Näin ollen korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevan katon muotokerroin $\mu_2 = 2,4$. (RIL 201-1-2017, 105.)

Lumen kinostumiskuorma voidaan nyt laskea kaavalla 3, jossa μ_i :nä käytetään korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevan katon muotokerrointa μ_2 . Tästä saadaan tasoerokohdan lumikuormaksi $s = 6$ kN/m². Lumen kinostumisesta johtuvaa kuormaa normaalin lumikuorman lisäksi tasoerokohdassa 4 kN/m², joka vähentyy lineaarisesti, kunnes 6 metrin päässä tasoerokohdasta kinostumisesta aiheutuvaa kuormaan on 0 kN/m².

4 RAKENNESUUNNITTELU

4.1 Mitoitusmenetelmät

Rakenteiden mitoituksessa vallitsevia mitoitusilanteita voivat olla normaalisti valitsevat, tilapäiset ja onnettomuustilanteet, kuten tulipalo. Tässä kohteessa on huomioitu normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet ja palotilanteet. Kohteen rakenteet on mitoitettu käyttäen rajatilamitoituksen menetelmää ja rakennuksen varmuus on osoitettu osavarmuuslukumenetellyllä. Rajatilamitoitus perustuu rajatilaa varten muodostettuihin rakenne- ja kuormitusmalleihin. Rajatilamitoituksessa tulee tarkastella sekä murtorajatila että käyttörajatila. (RIL 201-1-2017, 29.)

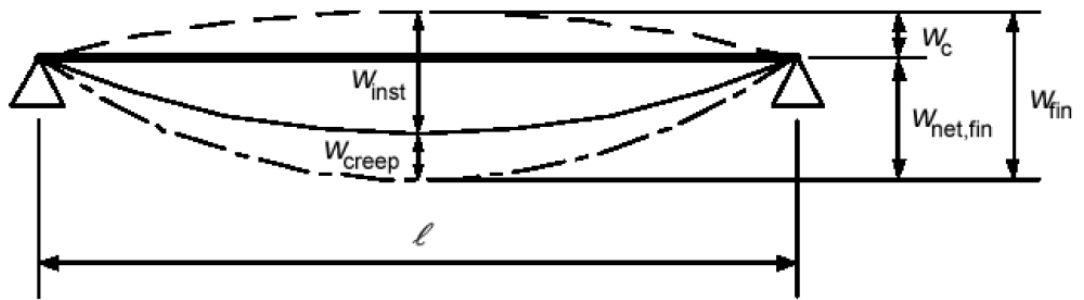
4.1.1 Murtorajatila

Murtorajatilaksi luokitellaan rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen. Murtorajatila liittyy ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Murtorajatilatarkastelussa tulee osoittaa, että murtorajatiloissa tasapainoa heikentävien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin tasapainoa parantavien kuormien mitoitusarvo tai rakenteen kestävyysmitoitussarvo. Tarkasteltavia murtorajatiloja ovat esimerkiksi jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys, muuttuminen mekanismiksi, katkeaminen ja rakenteen stabiiliuden menetys. (RIL 201-1-2017, 29.)

4.1.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilaksi luokitellaan rajatilatilat, jotka liittyvät rakenteen normaalikäyttöön, ihmisen mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön (RIL 201-1-2017, 30).

Käyttörajatilassa tarkastellaan palkkien taipumia sekä rakennuksen vaakasiirtymiä. Kuormayhdistelmästä aiheutuva taipuma muodostuu kuvan 1 mukaisista osista. (RIL 205-1-2017, 97.)



Kuva 1. taipumien muodostuminen (RIL 205-1-2017, 98).

Taipumat lasketaan yhteen seuraavalla kaavalla:

$$w_{net.fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c, \text{ missä}$$

$w_{net.fin}$	on lopputaipuma
w_{inst}	on hetkellinen taipuma
w_{creep}	on viruman aiheuttama lisätaipuma
w_{fin}	on kokonaistaipuma ($w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$)
w_c	on esikorotus

Kaava 7. Taipuman muodostuminen (RIL 205-1-2017, 97).

Kun palkin taipumasta tai rakenteen vaakasiirtymästä on haittaa, kuormien ominaisyhdistelmästä aiheutuvat käyttörajatilan muodonmuutokset tulee rajata taulukossa 1 esitettyihin maksimiarvoihin (RIL 205-1-2017, 98).

Taulukko 1. Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymän enimmäisarvot, kun L on jänneväli ja H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus (RT RakMK-21748 2017, 4).

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Pääkannattimet	L/400	L/300	L/200
Orret ja muut toisiokannattimet	–	L/200 ³⁾	L/150
Rakennuksen vaakasiirtymä	–	H/300	–

¹⁾ Koskee pelkästään lattioita

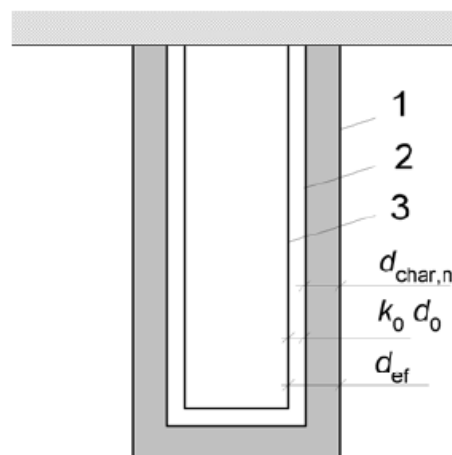
²⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita

³⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2 \text{ kN}$ ja levyn omapaino

Ulokkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen (RIL 205-1-2017, 98).

4.1.3 Palotilanne

Liimapuurungon tulee palotilanteessa täyttää sille asetetut palonkestovaatimukset. Liimapuu mitoitetaan palotilannetta varten tehollisen poikkileikkauksen menetelmällä. Mitoituksessa käytetään ns. tehollista poikkileikkausta, joka saadaan vähentämällä alkupe-
räisestä poikkileikkauksesta tehollisen hiiltymissyvyyden d_{ef} verran kaikilta palolle alttiilta
sivuilta. (RIL 205-2-2009, 31.)



Kuva 2. Jäännöspoikkileikkauksen ja tehollisen poikkileikkauksen määrittäminen (RIL 205-2-2009, 31).

Kuvassa

1. rakenneosan alkuperäinen pinta
2. jäännöspoikkileikkauksen raja
3. tehollisen poikkileikkauksen raja (RIL 205-2-2009, 31).

Tehollinen hiiltemissivvyys saadaan kaavalla

$$d_{ef} = d_{char.n} + k_0 d_0, \text{ missä}$$

d_{char}	nimellisen hiiltemissivvyyden mitoitussarvo, johon sisältyy kulmapyöristysten vaikutus
d_0	7 mm
k_0	kerroin, joka riippuu palonkestoajasta ja siitä onko rakenne suojattu palolta (30 minuutin palolle suojaamattomilla pinnoilla $k_0 = 1,0$).

Kaava 8. Tehollisen hiiltemissivvyyden laskentakaava (RIL 205-2-2009, 31).

Nimellinen hiiltemissivvyys saadaan kaavasta

$$d_{char.n} = \beta_n \cdot t, \text{ missä}$$

β_n	nimellisen hiiltemisnopeuden mitoitussarvo, jonka suuruuteen sisältyy kulmapyöristysten ja halkeamien vaikutus (liimapuulle 0,7 mm/min)
t	palonkesto aika (R30 = 30 min).

Kaava 9. Nimellisen hiiltemissivvyyden kaava (RIL 205-2-2009, 23).

4.1.4 Kuormitusyhdistelmät

Eri kuormitusyhdistetyille käytetään vaihtelevia yhdistelykertoimia riippuen siitä, minkälaista kuormitusyhdistelmää ollaan tekemässä. Yhdistelykertoimille käytetään tunnusta ψ ja sille alaindeksiä 0, 1 tai 2 kuormitusyhdistelystä riippuen. Yhdistelmäkertoimet on esitelty taulukossa 2. (RIL 201-1-2017, 38.)

Taulukko 2. Kuormien yhdistelykertoimet (RIL 205-1-2017, 29).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa (ks. taulukko 2.5)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, esim. autotallit	0,7	0,7	0,6 **)
Luokka G: liikennöitävät tilat, raskaat ajoneuvot	0,7	0,5	0,3 **)
Luokka H: vesikatot (kunnossapito)	0	0	0
Jääkuorma (huurtumisesta, jäätävästä sateesta tai räntäsateesta)	0,7	0,3	0
Lumikuorma ^{*)} , kun			
$s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,2
Rakennusten tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset, tukien painumat	1,0	1,0	1,0

^{*)} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä.

Huom! Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen.

^{**) Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$.}

Kuormitusyhdistelmissä käytetään rakennuksen seuraamusluokan mukaan määräytyvää kerrointa K_{FI} , joka on esitetty taulukossa 3 (RIL 201-1-2017, 39). Tässä kohteessa seuraamusluokka on CC2, keskiuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia (mts. 26).

Taulukko 3. Kuormakerroin K_{FI} eri seuraamusluokissa (RIL 201-1-2017, 39).

Kuormakerroin K_{FI}	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1,0	CC2
0,9	CC1

Murtorajatilassa kuormien ominaisarvot kerrotaan osavarmuuskertoimilla. Pysyville kuormille käytetään osavarmuuserrointa 1,15 ja muuttuville kuormille osavarmuuserrointa 1,5. Ei-määräävät muuttuvat kuormat kerrotaan taulukon 2 mukaisella ψ_0 kertoimella. (RIL 201-1-2017, 40.) Murtorajatilán kuormitusyhdistely saadaan kaavalla

$$1,15K_{FI}G_{k,j} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\psi_{0,j}Q_{k,j}, \text{ missä}$$

$G_{k,j}$	pysyvän kuorman ominaisarvo
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$Q_{k,j}$	muun muuttuvan kuorman ominaisarvo.

Kaava 10. Murtorajatilän kuormitusyhdistelmä (RIL 201-1-2017, 40).

Käyttörajatilassa muut muuttuvat kuormat kerrotaan taulukon 2 mukaisella ψ_0 kertoimella. Käyttörajatilassa ei käytetä osavarmuuskertoimia (RIL 201-1-2017, 40). Näin saadaan käyttörajatilän kuormitusyhdistelmän kaavaksi

$$K_{FI}G_{k,j} + K_{FI}Q_{k,1} + K_{FI}\psi_{0,j}Q_{k,j}.$$

Kaava 11. Käyttörajatilän kuormitusyhdistelmä (RIL 201-1-2017, 40).

Palotilanteen kuormitusyhdistelyissä käytetään Suomessa tuuli- ja lumikuormille määräävälle kuormalle taulukon 2 mukaista ψ_1 -kerrointa ja muille muuttuville kuormille ψ_2 -kerrointa. Palotilanteessa ei käytetä osavarmuuskertoimia. (RIL 201-2-2011, 30.) Tästä saadaan palotilanteen kuormitusyhdistelyn kaavaksi

$$K_{FI}G_{k,j} + K_{FI}\psi_{1,1}Q_{k,1} + K_{FI}\psi_{2,j}Q_{k,j}.$$

Kaava 12. Palotilanteen kuormitusyhdistelmä (RIL 201-1-2017, 41).

4.2 Materiaaliominaisuudet

4.2.1 Liimapuu

Kohteessa on käytetty liimapuun lujuusluokkaa GL30c. Liimapuun lujuudet on laskettu Suomen Standardisoimisliiton SFS-EN 14080 -julkaisun mukaan.

Taulukko 4. Liimapuun lujuuksien ominaisarvot eri lujuusluokille. Yksikkö N/mm². (SFS-EN 14080:2013, 24.)

Ominaisuus ^{a)}	Merkintä	Liimapuun lujuusluokka						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Taivutuslujuus	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Vetolujuus	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Puristuslujuus	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Leikkauslujuus (leikkaus ja vääntö)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Poikittainen leikkauslujuus	$f_{r,g,k}$	1,2						
Kimmokerroin	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Liukukerroin	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Poikittainen liukukerroin	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Tiheys ^{b)}	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

a) Tässä taulukossa esitetyt ominaisuudet on laskettu kohdan 5.1.5 mukaisesti taulukossa 2 esitettyjen lamelliasettelujen perusteella. Jos tietyn lujuusluokan eri lamelliasetelulla saadaan erilaisia ominaisarvoja, tässä esitetään pienin arvo.

b) Laskettu eri lamellivähykkeiden tiheyksien painotettuna keskiarvona, katso kohta 5.1.5.3, viides kappale.

Rungon suunnittelussa tulee ottaa huomioda runkoon kohdistuvat kosteusrasitukset sekä kuorman kesto. Kuorman kesto ja kosteusolosuhteet vaikuttavat puun ja puurakenteiden lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin. Puun kosteudenvaihtelun vaikutuksesta aiheutuvat rasitukset, kuten puun kuivumisesta aiheutuva syysuuntaa vastaan kohtisuoraa kutistuminen. Runko sijaitsee kuivissa sisätiloissa, joten rungon käyttöluokka on 1. Kun runkoa kuormittava tekijä on lumi, kuorman aikaluokka on keskipitkä, ja näin saadaan aika- ja käyttöluokasta muunnoskertoimeksi $k_{mod} = 0,8$. Kun runkoa kuormittava tekijä on tuulikuorma, kuorman aikaluokka on hetkellinen, joten muunnoskertoimeksi saadaan $k_{mod} = 1,1$. (RIL 205-1-2017, 31–33, 49.)

Liimapuun kestävyysden mitoitusarvo f_d saadaan seuraavasta kaavasta:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}, \text{ missä}$$

k_{mod} kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muuntokerroin

γ_M materiaaliominaisuuden osavarmuusluku, liimapuulle $\gamma_M = 1,25$ (RIL 205-1-2017, 2017, 47).

f_k kestävyysden ominaisarvo.

Kaava 13. Materiaalin kestävyysmitoitussarvon laskentakaava (RIL 205-1-2017, 48).

Palotilanteessa liimapuun lujuuden mitoitussarvo $f_{d,fi}$ saadaan kaavasta

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{k_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}}, \text{ missä}$$

$k_{mod,fi}$ muunnoskerroin palotilanteessa, yleensä $k_{mod,fi} = 1,0$

k_{fi} kerroin jolla otetaan huomioon lujuus- ja jäykkyysominaisuuden 20 % fraktaali

$\gamma_{M,fi}$ puun osavarmuusluku palotilanteessa, $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

Kaava 14. Liimapuun lujuuden mitoitussarvo palotilanteessa (RIL 205-2-2009, 2009, 16).

4.2.2 Teräs

Teräsheloissa on käytetty S355-rakenneterästä, jonka myötöraja $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$. At-rainhelojen liimasauvoina on käytetty A500HW-harjaterästankoja, joiden myötölujuus $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$. Pulttitarvikkeiden ja kierretankojen lujuus on 8.8, jonka vetomurtolujuus $f_u = 640 \text{ N/mm}^2$ ja myötöraja $f_y = 640 \text{ N/mm}^2$. Kierretangot ja pulttitarvikkeet on kuumasinkitty ja näkyviin jäävät teräsosat maalataan. Ruuvit on sähkösinkitty tai vastaava käsittely.

4.3 Liimapuurungon mitoitus

4.3.1 Harjapalkki

Kohteessa on neljä erilaisista harjapalkkia. Harjapalkit LP1 (liite 6) ja LP2 (liite 7) ovat tasaisesti kuormitettuja symmetrisiä harjapalkkeja. Harjapalkit LP3 (liite 8) ja LP4 (liite 9) ovat tasaisesti kuormitettuja epäsymmetrisiä harjapalkkeja.

Kohteen pääkannattajana toimivien harjapalkkien mitoitus on tehty käsin käyttäen Mathcad Prime 3.1 -ohjelmaa. Mitoituksessa käytetty katon omapaino ja ripustus $g_{k1} = 0,7 \text{ kN/m}^2$. Lumikuormana käytetty $q_{k,1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ ja tasoerokohdan kinostuneen lumen

aiheuttamana lisälumikuormana $q_{k,2} = 0 \dots 4 \text{ kN/m}^2$. Kattoelementtien jatkuvuudesta aiheutuva kuormien epätasainen jakautuminen on 2-aukkoisilla kattoelementeillä otettu huomioon kertoimella 1,15 ja 3-aukkoisilla kattoelementeillä kertoimella 1,10.

Harjapalkit mitoitettiin kolmessa kuormitustapauksessa. Tapauksessa 1 laskettiin pysyvä kuorma sekä tasainen 100 %:n lumi. Tapauksessa 2 laskettiin pysyvä kuorma sekä toisella lappeella lunta 100 % ja toisella lappeella lunta 50 %. Tapauksessa 3 mitoitettiin R30 palokuormille, jolloin kuormina olivat 100 %:n pysyvä kuorma sekä 40 %:n tasainen lumikuorma.

Taivutuskestävyys

Tasaisesti kuormitetun harjapalkin taivutuskestävyys tarkistetaan harjalla, mitoittavassa poikkileikkauksessa ja kohdassa, jossa taivutusmomentti saa maksimiarvon. Tasaisesti kuormitetuilla symmetrisillä harjapalkeilla taivutusmomentti on usein suurin harjalla ja taivutusjännitykset suurimpia mitoittavassa poikkileikkauksessa. Tasaisesti kuormitetujen harjapalkkien mitoittavan poikkileikkauksen sijainti x_m ja korkeus h_x voidaan selvittää taulukossa 2 esitetyillä kaavoilla.

Taulukko 5. Tasaisesti kuormitetun harjapalkin mitoittavan poikkileikkauksen sijainti (Liimapuukäsikirja Osa 3, 2015, 53).

	$x_m = \frac{l_{ap}}{h_{ap}/h_A + 2 \cdot l_{ap}/l - 1}$ $h_x = h_A + \frac{x_m}{l_{ap}} \cdot (h_{ap} - h_A)$
	$x_m = \frac{l \cdot h_A}{2 \cdot h_{ap}}$ $h_x = h_A \cdot (2 - h_A/h_{ap})$

, missä

h_A harjapalkkiin pään korkeus

h_{ap} harjan korkeus

l	palkin pituus
l_{ap}	harjan sijainti.

Taivutusmomentin aiheuttama taivutusjännitys $\sigma_{m.d}$ saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\sigma_{m.d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2}, \text{ missä}$$

M_d	tarkasteltavan kohdan taivutusmomentti
b	palkin leveys
h	palkin korkeus tarkasteltavassa kohdassa.

Kaava 15. Taivutusjännityksen laskentakaava.

Taivutusmomentin aiheuttaman jännityksen tulee vaihtuvakorkuisilla palkeilla täyttää seuraava ehto:

$$\sigma_{m.d} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d}, \text{ missä}$$

$f_{m.d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo
$k_{m.\alpha}$	viistetyn yläpinnan huomioiva kerroin.

Kaava 16. Vaihtuvakorkuisten palkkien taivutusjännityksen mitoitusehto (RIL 205-1-2017, 86).

Kerroin $k_{m.\alpha}$ saadaan seuraavalla kaavalla viistetyn reunan ollessa puristettu:

$$k_{m.\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d}}{1,5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}}, \text{ missä}$$

$f_{v.d}$	leikkauslujuuden mitoitusarvo
$f_{c.90.d}$	poikittaisen puristuslujuuden mitoitusarvo
α	viistetyn reunan ja syysunnan välinen kulma.

Kaava 17. $k_{m.a}$ - kertoimen laskentakaava (RIL 205-1-2017, 87).

Harjan kohdalla vaikuttavaa taivutusjännitystä korotetaan kertoimella k_l , kun taivutus aiheuttaa vetoa suoralle reunalle (RIL 205-1-2017, 88):

$$k_l = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap}, \text{ missä}$$

a_{ap} yläpinnan kaltevuuskulma harjan keskellä.

Kaava 18. Taivutusjännityksen korotuskerroin harjapalkille (RIL 205-1-2017, 87).

Tästä saadaan harjan taivutusjännityksen mitoitus ehdoksi

$$\sigma_{m,d} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m,d}, \text{ missä}$$

k_r kerroin, jolla otetaan huomioon kaarevan liimapuun valmistuksessa tapahtuva lamellien taivutus (harjapalkille 1,0)

$f_{m,d}$ taivutuslujuuden mitoitusarvo.

Kaava 19. Harjan taivutusjännityksen mitoitus ehto (RIL 205-1-2017, 87-88).

Syysuuntaa vastaan kohtisuora jännitys

Harjavyöhykkeessä valitsevan suurimman syysuntaan kohtisuoran jännityksen tulee täyttää ehto

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}, \text{ missä}$$

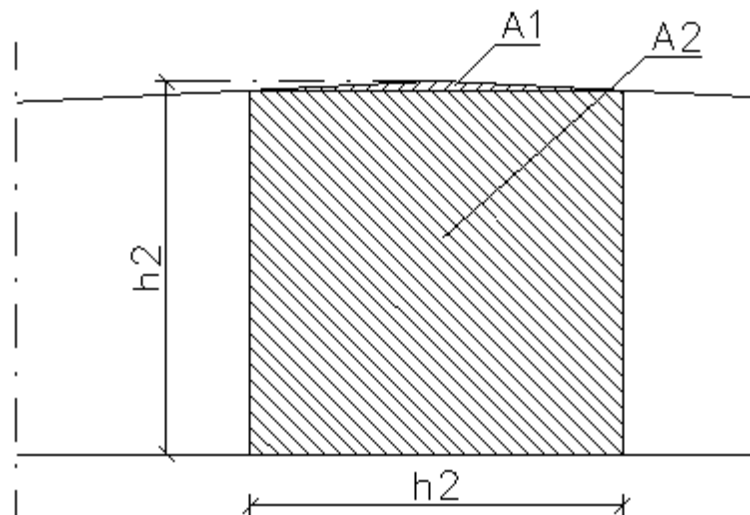
$\sigma_{t,90,d}$ syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen mitoitusarvo

k_{dis} kerroin, jolla otetaan huomioon jännitysten jakautumisen vaikutus harjavyöhykkeellä (harjapalkille 1,4)

k_{vol} poikittaisen vetolujuuden kokonaisvaikutuskerroin

$f_{t,90,d}$ poikittaisen vetolujuuden mitoitusarvo.

Kaava 20. Harjavyöhykkeen syysuuntaan kohtisuoran jännityksen mitoitus ehto (RIL 205-1-2017, 89).



Kuva 3. Harjavyöhykkeen tilavuus (Puuinfo Oy 2015).

Poikittaisen vetolujuuden kokonaisvaikutuskerroin k_{vol} voidaan liimapuulle ja samansuuntaisesti viilutetulle LVL:lle seuraavalla kaavalla:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}, \text{ missä}$$

V_0 vertailutilavuus 0,01 m³

V kuvan 3 mukainen harjavyöhykkeen tilavuus.

Kaava 21. Poikittaisen vetolujuuden kokonaisvaikutuskerroin (RIL 205-1-2017, 89).

Harjavyöhykkeen tilavuudeksi oletetaan kuitenkin enintään $2V_b/3$, kun V_b on palkin kokonaistilavuus (RIL 205-1-2017, 90).

Syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen laskennassa tulee huomioida k_p -kerroin, joka saadaan harjapalkille kaavalla

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap}.$$

Kaava 22. k_p -kertoimen laskenta harjapalkille (RIL 205-1-2017, 91).

Harjan syysuuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys saadaan kaavasta

$$\sigma_{t.90.d} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap.d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \text{ missä}$$

$M_{ap,d}$	harjavyöhykkeellä vaikuttava vetojännitystä aiheuttavan momentin mitoitusarvo
h_{ap}	harjan korkeus.

Kaava 23. Harjan syysuuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys (RIL 205-1-2017, 90).

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys

Symmetrisillä harjapalkeilla yhdistettyä poikittaista veto- ja puristuskestävyyttä ei tarvitse tarkistaa symmetrisellä tasaisella kuormalla, koska momentin maksimissa eli harjalla leikkausvoima on nolla. Kuormitustapauksessa 2 kuormaa on epäsymmetrisesti ja harjalle tulee taivutusmomentin aiheuttaman vetojännityksen lisäksi leikkausjännitystä. Tässä tapauksessa tulee huomioida yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla. (RIL 205-1-2017, 90.)

Leikkausjännitys τ_d saadaan kaavasta

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h}, \text{ missä}$$

V_d	leikkausvoiman arvo tarkasteltavassa kohdassa
b_{eff}	poikkileikkauksen tehollinen leveys.

Kaava 24. Leikkausjännityksen laskentakaava.

Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyssmitoituksessa on otettava huomioon halkeamien vaikutus käyttämällä poikkileikkauksen tehollista leveyttä b_{eff} , joka saadaan kertomalla poikkileikkauksen leveys kertoimella k_{cr} . Kerroin k_{cr} on liimapuulle 1,0.

Yhdistetyn poikittaisen veto- ja leikkausjännitysten tulee täyttää seuraava ehto:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1.$$

Kaava 25. Yhdistetyn poikittaisen veto- ja leikkausjännitysten mitoitusehto (RIL 205-1-2017, 90).

Kuormitustapauksessa 2 leikkauskestävyys tulee myös tarkistaa maksimitaivutusjännityksen kohdalla (Kähkönen 1997, 73).

Leikkausvoima tuella

Tasaisesti kuormitetun palkin tuen leikkausvoimaa voidaan pienentää seuraavalla kaavalla:

$$V_{red} = V \cdot \left(1 - \frac{2h+l_A}{l}\right).$$

Kaava 26. Tasaisesti kuormitetun palkin leikkausvoiman pienentäminen (RIL 205-1-2017, 76).

Tukipainekestävyys

Harjapalkin tukipaineen aiheuttaman syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen tulee täyttää ehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}, \text{ missä}$$

$\sigma_{c,90,d}$	kosketuspinnalla vaikuttava puristusjännitys
$f_{t,90,d}$	puristuslujuuden mitoitusarvo
$k_{c,\perp}$	tukipaine kerroin.

Kaava 27. Syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen mitoitus ehto (RIL 205-1-2017, 72).

missä

Tukipainekertoimen arvo saadaan kaavasta

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90}, \text{ missä}$$

l	kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa
$l_{c,90,ef}$	tehollinen kosketuspinnan pituus
$k_{c,90}$	kerroin, jolla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus.

Kaava 28. Tukipainekerroin (RIL 205-1-2017, 72).

Tehollinen kosketuspinta määritetään liimapuulle lisäämällä kosketuspinnan pituuteen 30 millimetriä tuen molemmille puolille. Kerroin $k_{c,90}$ on liimapuulle 1,5. (RIL 205-1-2017, 72.)

Harjapalkkien tukipaine ylitti sille sallitun arvon. Näissä kohdissa harjapalkin tukipainekestävyyttä kasvatettiin ns. atrainhelalla. Atrainhela toimii tukipinnan teräslevyvahvistuksena, joka kiinnitetään palkkiin liimatankoina toimivien harjaterästen avulla. Harjateräkset liimataan rakenteeseen rakenteellisella liimauksella, ja ne siirtävät voimat teräslävystä palkkiin. Liimasauvan tartuntalujuus $f_{a,k}$ saadaan kaavalla

$$f_{a,k} = 6,5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right), \text{ missä}$$

L_a liimatangon tartuntapituus palkissa

d liimatangon halkaisija.

Kaava 29. Atrainhelan liimasauvan tartuntalujuus (Puuinfo Oy, 2015).

Kiepahdustarkastelu

Harjapalkin kiepahdustarkastelussa käytetään palkin korkeutena palkin mitoittavan poikileikkauksen korkeutta. Tässä kohteessa kattoelementit toimivat palkkien kiepahdustukena. Tästä saadaan kiepahdustukiväli $a = 2\,500$ mm. Kuormat siirtyvät palkille puuelementeiltä pistekuormina. Tästä saadaan teholliseksi kiepahduspituudeksi $l_{ef} = a$. Palkin kiepahduskestävyyden tulee toteuttaa ehto

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}, \text{ missä}$$

k_{crit} kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskin takia pienentynyt taivutuskestävyys

$f_{m,d}$ taivutusjännityksen mitoitusarvo.

Kaava 30. Palkin kiepahduskestävyyden mitoitusehto (RIL 205-1-2017, 83).

Palkin kiepahduskertoimen laskennassa tarvitaan palkin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,m}$, joka saadaan kaavalla

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \text{ missä}$$

$\sigma_{m,crit}$ kriittinen taivutusjännitys.

Kaava 31. Palkin suhteellinen hoikkuus (RIL 205-1-2017, 83).

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys voidaan laskea kaavalla

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05}, \text{ missä}$$

c liimapuulle 0.7

b palkin leveys

h palkin korkeus

$E_{0,05}$ syysuuntaista kuormitusta vastaava kimmokerroin, GL30c liimapuulle 10800 N/mm².

Kaava 32. Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys (RIL 205-1-2017, 84).

Palkin kiepahduskerroin saadaan kaavasta

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Kaava 33. Kiepahduskertoimen määrittäminen (RIL 205-1-2017, 85).

Taipuma-arvio

Harjapalkkien tarkan taipuman laskenta käsin vaatii huomattavan määrän laskentatyötä. Tasaisesti kuormitettujen symmetristen harjapalkkien taipuma voidaan arvioida käyttämällä seuraavaa kaavaa (Liimapuukäsikirja Osa 2, 2015, luvut 6–11):

$$w = \frac{5qL^4}{384EI_e} + 0,35 \frac{qL^2}{Gb(h_s + h_{ap})}, \text{ missä}$$

q	palkkia kuormittavan tasaisen kuorman ominaisarvo
L	palkin jänneväli
E	liimapuun kimmokerroin
G	liimapuun liukukerroin
I_e	palkin hitausmomentti
b	palkin leveys
h_s	palkin korkeus tuella
h_{ap}	harjan korkeus.

Kaava 34. Symmetrisen harjapalkin taipuma-arvion kaava (Liimapuukäsikirja Osa 2, 2015, luvut 6–11).

Palkin hitausmomentin I_e laskennassa käytetään palkille korkeutta h_e , joka saadaan harjapalkeille kaavasta

$$h_e = h_s + 0,33 \cdot L \cdot \tan \alpha.$$

Kaava 35. Harjapalkin korkeus h_e (Liimapuukäsikirja Osa 2, 2015, luvut 6–11).

Kokonaistaipuman raja pääkannattajille on $L/200$ ja lopputaipuman raja $L/300$ (RIL 205-1-2017, 98). Tässä kohteessa lopputaipuman raja ylittyy, joten palkit esikorotetaan tehtaalla Laten vakioennakkokorotuksella $L/400$.

4.3.2 Kevyet päätypalkit

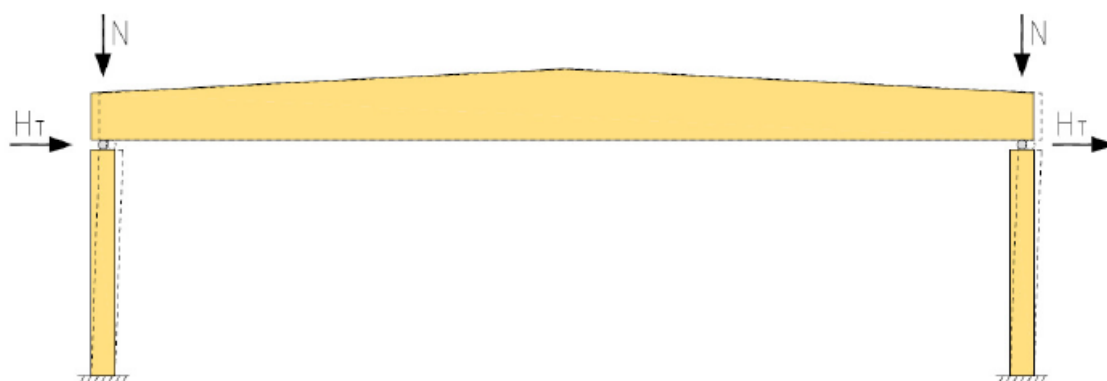
Kohteen kevyet päätypalkit LP6 (liite 11) ja LP7 (liite 12) mitoitettiin käyttäen puupalkkien PupaX5-mitoitusohjelmaa. Laskelmista saatujen minimitukipintojen toteutuminen varmistetaan tukipinnan levityshelalla.

4.3.3 Mastopilari

Mastopilarit mitoitettiin viidessä kuormitustapauksessa. Liitteissä 13–19 esitetään mastopilarien laskelmat mitoittavassa kuormitustapauksessa normaali- ja pelitilanteessa.

Taulukko 6. Mastopilarien kuormitustapaukset.

Kuormitustapaus	Omapaino	Lumi	Tuuli
KT 1, NORMAALI	100 %	100 %	0 %
KT 2, NORMAALI	100 %	70 %	100 %
KT 3, NORMAALI	100 %	100 %	60 %
KT 4, R30 PALO	100 %	40 %	0 %
KT 5, R30 PALO	100 %	40 %	20 %



Kuva 4. Mastopilarikehän lisävaakavoimat (Puuinfo Oy, 2014).

Rakennuksen leveyssuuntainen jäykistys toteutetaan mastopilarikehällä ja pituussuunnassa rakennuksen keskikaistaleen jäykistys puolestaan päätyjen mastopilareilla. Mastopilareita mitoittaessa on otettu huomioon horisontaalikuormien aiheuttama lisävaakavoima. Eurokoodi 5 ei tunne lisävaakavoimaa, mutta se tulisi ottaa huomioon rakenteiden mitoituksessa (Puuinfo Oy, 2014). Ellei tarkempia tarkasteluja suoriteta, otetaan lisävaakavoima rakennuksen lyhyemmässä suunnassa huomioon seuraavalla kaavalla:

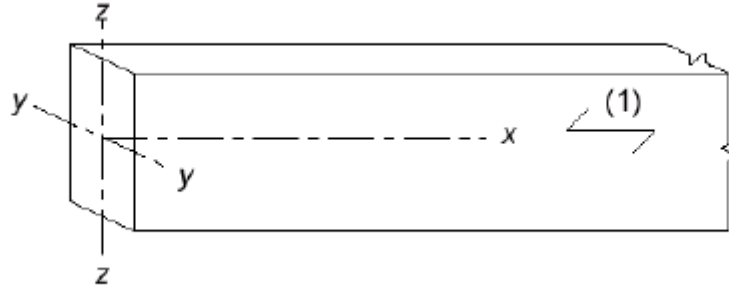
$$H_{dt} = \frac{N_d}{150}, \text{ missä}$$

N_d lisävaakavoimaa aiheuttavan pystykuorman laskenta-arvo.

Kaava 36. Lisävaakavoima rakennuksen lyhyemmässä suunnassa (RIL 201-1-2017, 79).

Lisävaakavoiman oletetaan vaikuttavan niin, että rakennuksen stabiiliteetin kannalta muodostuu määräävä vaikutus. Vaakavoimista aiheutuvien rasitusten oletetaan jakautuvan mastopilareille niiden jäykkyyksien suhteen. (RIL 201-1-2017, 79.)

Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus



Kuva 5. Sauvan akselit (RIL 205-1-2017, 71).

Mastopilarit mitoitetaan taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksella. Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen tulee täyttää seuraavat ehdot (RIL 205-1-2017, 78):

$$\left(\frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1, \text{ missä}$$

$\sigma_{c.0.d}$	syysuunnassa vaikuttava puristusjännityksen mitoitusarvo
$f_{c.0.d}$	syysuunnan puristuslujuuden mitoitusarvo
$\sigma_{m.y.d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa
$\sigma_{m.z.d}$	taivutusjännityksen mitoitusarvo poikkileikkauksen heikommassa suunnassa
$f_{m.y.d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa
$f_{m.z.d}$	taivutuslujuuden mitoitusarvo poikkileikkauksen heikommassa suunnassa.

Kaava 37. Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen mitoitusehdot (RIL 205-1-2017, 78).

Kaavassa huomioitava k_m -kerroin, jolla otetaan huomioon jännitys jakauman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen, saa liimapuulle arvon 0,7 (RIL 205-1-2017, 2017, 74).

Mastopilareissa taivutusjännitystä on vain poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa, joten taivutuksen ja puristetun sauvan mitoitusehto saa muodon:

$$\left(\frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} \leq 1.$$

Kaava 38. Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen mitoitus ehdot, kun taivutusta on ainoastaan poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa (RIL 205-1-2017, 78).

Nurjahduskestävyys

Kohteen mastopilareita ei ole tuettu poikkileikkauksen kummassakaan suunnassa, joten mastopilarin nurjahduskestävyys on tarkistettava poikkileikkauksen molemmissa suunnissa. Sauvan nurjahduspituus L_c , kun L on sauvan pituus, saadaan RIL 205-1-2017:n taulukosta 6.1-FI. Kohteen pilarit toimivat vahvemmassa suunnassa mastopilarein ja heikommassa suunnassa molemmista päistään nivelöityinä pilareina. Mastopilareilla nurjahduspituus on $2,5 L$ ja molemmista päistään nivelöidyillä pilareilla $1,0 L$. (RIL 205-1-2017, 80.)

Mastopilareissa taivutusjännitystä on ainoastaan poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa, joten nurjahduskestävyyden mitoitus ehtoina voidaan käyttää

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c,y} f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1.$$

Kaava 39. Nurjahduskestävyyden mitoitus ehto poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa (RIL 205-1-2017, 82).

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c,z} f_{c.0.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1, \text{ missä}$$

k_c nurjahdusalttiin sauvan nurjahduskerroin.

Kaava 40. Nurjahduskestävyyden mitoitus ehto poikkileikkauksen heikommassa suunnassa (RIL 205-1-2017, 82).

Nurjahduskerroin k_c sisältää toisen kertaluvun rasitukset. Nurjahduskerroin saadaan seuraavilla kaavoilla:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1, \text{ missä}$$

$\lambda_{rel,y}$ y-akselin suhteen laskettu muunnettu hoikkuusluku.

Kaava 41. Nurjahduskertoimen laskentakaava (RIL 205-1-2017, 82).

Luku k_y saadaan seuraavalla kaavalla:

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2), \text{ missä}$$

β_c sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuulle 0,1.

Kaava 42. k_y -luvun laskentakaava (RIL 205-1-2017, 82).

Sauvan muunnettu hoikkuusluku saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}.$$

Kaava 43. Poikkileikkauksen y-akselin suhteen laskettu muunnettu hoikkuusluku (RIL 205-1-2017, 82).

Poikkileikkauksen hoikkuusluku laskettuna y-akselin suhteen saadaan kaavasta:

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y}, \text{ missä}$$

$L_{c,z}$ nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa

i_y poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suhteen ($= \sqrt{I_{y/A}}$).

Kaava 44. Poikkileikkauksen y-akselin suhteen laskettu hoikkuusluku (RIL 205-1-2017, 82).

Edellä on esitetty nurjahduskertoimen laskenta poikkileikkauksen vahvemmassa suunnassa. Sama lasku toistetaan poikkileikkauksen heikommassa suunnassa, jotta saadaan nurjahduskerroin $k_{c,z}$.

Kiepahdustarkastelu

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin kiepahdus tulee tarkistaa sekä tapauksessa, jossa pilaria kuormittaa vain vahvemman suunnan momentti, että tapauksessa, jossa momentin ja puristusvoiman yhdistelmä vaikuttaa. Tasaisesti kuormitetun pilarin tehollisen pituuden suhde jänneväliin on $l_{ef} / l \leq 0,5$, joten $l_{ef} = 0,5l$. (RIL 205-1-2017, 83–85.)

Kiepahduksen mitoitusehto tapauksessa, jossa momentin ja puristusvoiman yhdistelmä vaikuttaa, saadaan seuraavalla kaavalla:

$$\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.o.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.o.d}} \leq 1.$$

Kaava 45. Kiepahduksen mitoitusehto, kun momentin ja puristusvoiman yhdistelmä vaikuttaa (RIL 205-1-2017, 83).

Mastopilarin siirtymä

Mastopilarin siirtymällä tarkoitetaan mastopilarin taipumasta johtuvaa yläpään siirtymistä.

Mastopilarin taipuma voidaan laskea pilarin päässä vaikuttaville lisävaakavoimille kaavalla

$$w = \frac{FL^3}{3EI}, \text{ missä}$$

F	pistekuorman ominaisarvo kN
L	pilarin jänneväli
E	liimapuun kimmokerroin
I	poikkileikkauksen jäyhyysmomentti.

Kaava 46. Mastopilarin taipuma yläpään pistekuormille (Rakennustieto Oy, 2005, 50).

Mastopilarin taipuma tasaiselle tuulikuormalle saadaan kaavasta

$$w = \frac{qL^4}{8EI}.$$

Kaava 47. Mastopilarin taipuma tasaisille kuormille (Rakennustieto Oy, 2005, 50).

Rakennuksen vaakasiirtymän maksimiarvo on $H/150$, missä H on rakennuksen korkeus (RIL 205-1-2017, 98).

4.3.4 Mastopilarin liitos perustuksiin

Mastopilarit liitetään perustuksiin Late-Rakenteiden pyramidikengillä (liite 3). Pyramidikengät kiinnitetään mastopilareihin Ø19×500 mm pitkillä liimaruuveilla, lujuusluokka 5.8.

Liitos perustuksiin on mitoitettu käyttäen Late-Rakenteet Oy:n omaa pyramidikenkien mitoitustapaa, jota ei tässä työssä käydä läpi.

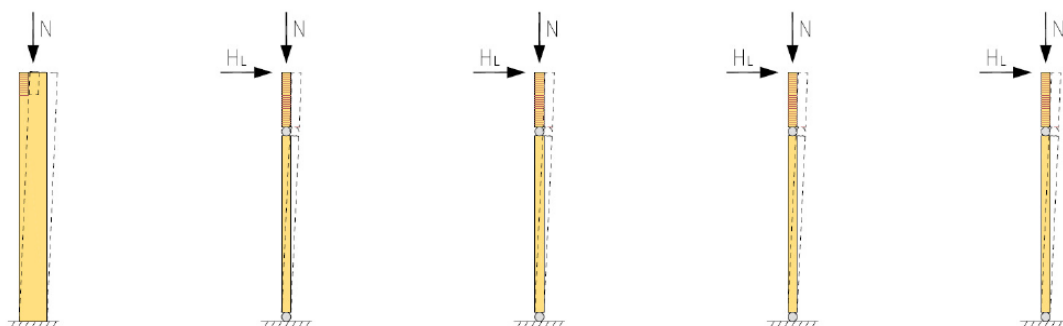
4.3.5 Pilari-palkkiliitokset

Mastopilarit liitetään harjapalkkeihin hankolautaliitoksilla (ks. liite 4). Hankolautaliitoksen mitoitusta käsitellään tässä työssä. Muut liitokset tehdään SFS Intecin WT-T-ruuveilla. WT-T-ruuvit on mitoitettu VTT Expert services Oy:n SFS WT-T 8,2xL ja 6,3xL vinoruuviliitosten suunnitteluohje -julkaisun mukaan.

4.3.6 Rungon jäykistys

Rakennusjärjestelmän tulee kestää ulkoiset vaakakuormat sekä ulkoisten pystykuormien aiheuttamat lisävaakakuormat ja vietävä kuormat perustuksille (RIL 244-2007, 10). Tässä kohteessa vaakakuormat koostuvat tuulikuormista ja lumikuorman sekä rakenteen omapainosta johtuvista lisävaakakuormista.

PILARIT + PÄÄKANNATIN + PÄÄTYSEINÄ (masto)



Kuva 6. Lisävaakavoima pidemmässä suunnassa, päädyn mastopilarit (Puuinfo Oy 2014).

Lisävaakavoima rakennuksen pidemmässä suunnassa saadaan kaavalla

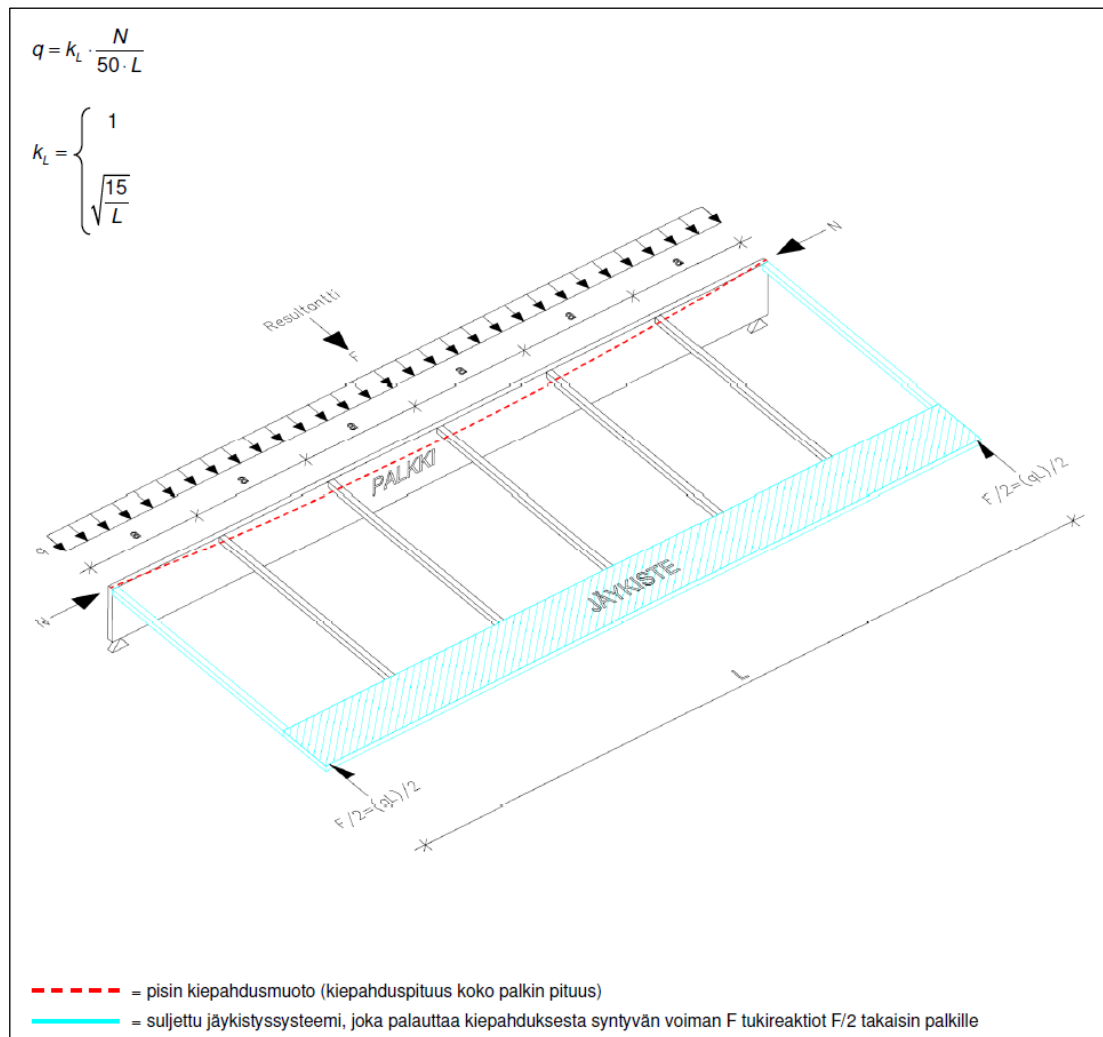
$$H_{dl} = \frac{b}{l} \cdot \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250}, \text{ missä}$$

b rakennuksen leveys

l rakennuksen pituus.

Kaava 48. Lisävaakavoima rakennuksen pidemmässä suunnassa (RIL 201-1-2017, 79).

Tässä kohteessa katon sekundäärirakenteen oletetaan siirtävän kattotason kuormat jäykistävälle rakenteille. Rungon jäykistys hoidetaan rakennuksen leveyssuunnassa mastopilarikehillä ja rakennuksen pituussuunnassa keskikaistaleella päädyn mastopilareilla. Kattoelementit toimivat palkkien kiepahdustukena ja siirtävät kiepahduskuormat jäykistävälle rakenteille. Kiepahduskuormat ovat sisäisiä kuormia, ja ne tulee ottaa huomioon pituussuuntaisen jäykistykseen suunnittelussa. Kiepahdustuille kiepahduksesta syntyvien voimien q laskenta on esitetty kuvassa 7. (Puuinfo Oy, 2014.)

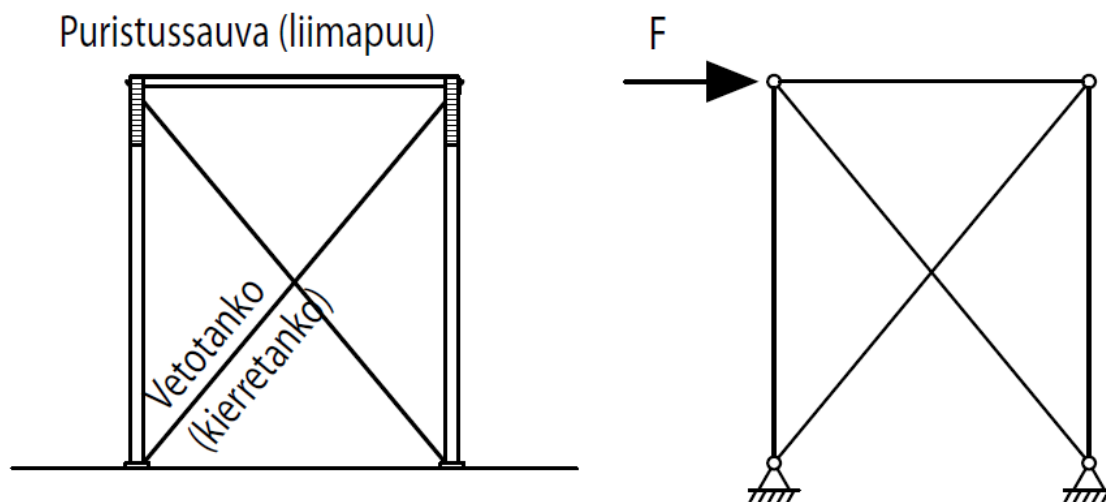


Kuva 7. Kiepahdusvoiman laskenta palkille (Puuinfo Oy, 2014).

Kuvassa

- q kiepahduksesta syntyvä kuorma
 N palkin yläpinnan puristus
 L palkin jänneväli.

Rakennuksen pituussuuntainen jäykistys reunakaistaleilla hoidetaan seinän tuulisiteillä. Tuulisiteinä käytetään ristikkäisinä diagonaaleina 8.8 kuumasinkittyä M16-kierretankoa. Kierretangot suojataan 30 minuutin palolta Paroc-palosuojakouruilla (ks. liite 4, DET39).



Kuva 8. Diagonaaleilla jäykistetyn kentän periaate (Puuinfo Oy 2010).

Yläreunaan vaikuttava vaakavoima F pyrkii kääntymään alanurkan ympäri, eli kentän toisen puolen diagonaali on ankkuroidava perustuksiin. Vaakaan kulkeva puristusorsi ottaa vastaan ristikon puristusvoimat. (RIL 244-2007, 39.)

Kierretanko liitetään perustuksiin Late-Rakenteiden omalla juurihelalla (ks. liite 3, DET1A). Kierretangon yläpää kiinnitetään harjapalkkiin Late-Rakenteiden omalla tuuliristikkohelalla (ks. liite 4, DET35).

5 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoitteena oli Ylöjärven Puu Oy:n uuden myymälä- ja varastorakennuksen liimapuurungon suunnittelu ja mitoitus. Liimapuurunko mitoitettiin suurimmaksi osaksi käsin ja kuvat piirrettiin AutoCAD LT 2015-ohjelmalla. Kevyet päätypalkit mitoitettiin käyttäen puupalkkien PupaX5-mitoitusohjelmaa. PupaX5 soveltuu moniaukkoisten kevyiden palkkien mitoitukseen erinomaisesti, koska ohjelma antaa suoraan vaadittavat tukipituudet. Haastavaa, mutta myös mielenkiintoista työstä teki se, että en ole aikaisemmin mitoitthanut liimapuurunkoa alusta asti. Liimapuusuunnittelusta minulla on kokemusta enimmäkseen detaljien suunnittelusta ja hieman kokemusta mitoituksesta. Aikataulu osoitautui myös haasteelliseksi, koska aihe oli odotettua laajempi.

Liimapuun mitoitus eurokoodeilla ei tuottanut ongelmia, koska aiheesta löytyy paljon hyviä ja luotettavia lähteitä. Työtä tehdessä oma ymmärrys liimapuun mitoituksesta ja eri rakenneratkaisujen vaikutuksesta suunnitteluun lisääntyi huomattavasti.

Työssä käsiteltiin kohteessa päädyttyjä ratkaisuja ja lyhyesti liimapuun mitoitusta yleisesti. Insinööriyön tuloksena syntyivät rakennepiirustukset, joiden pohjalta tehdään lähempänä kohteen toteutusta valmistuskuvat tehdasta varten.

LÄHTEET

Kähkönen, L. 1997. Kantavat puurakenteet -insinööriopetus. Jyväskylä: Rakennustieto Oy.

Liimapuukäsikirja Osa 1. 2014. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja>

Liimapuukäsikirja Osa 2. 2015. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja>

Liimapuukäsikirja Osa 3. 2015. Helsinki: Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja>

Puuinfo Oy 2014. Halli PES 1.0 Osa 11: Jäykistys. Viitattu 12.5.2018 https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/hallipes-10/hallipes_1.0_osa_11_jaykistys.pdf

Puuinfo Oy 2015. Halli PES 1.0 Osa 14: Voimaliitokset. Viitattu 12.5.2018 https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/HalliPES_1%20Osa_14_Voimaliitokset%202.12..pdf

Rakentajan kalenteri 2006. 2005. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 201-2-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

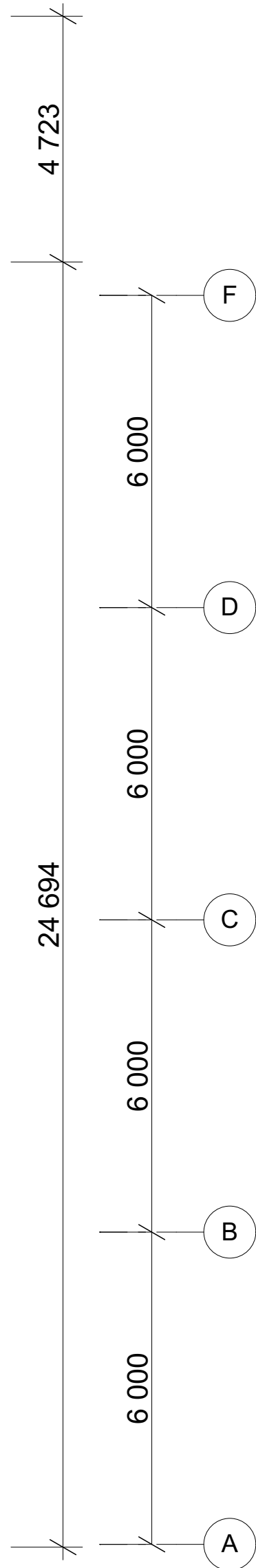
RIL 205-2-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 244-2007. Puurakenteiden jäykistykseen ja halkeilun hallinta Suunnittelu- ja valmistusohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT RakMK-21748. Puurakenteet, ohjeet 2017. Julkaistu 23.1.2018. Viitattu 12.5.2018. Ympäristöministeriö. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/21748.html.stx>

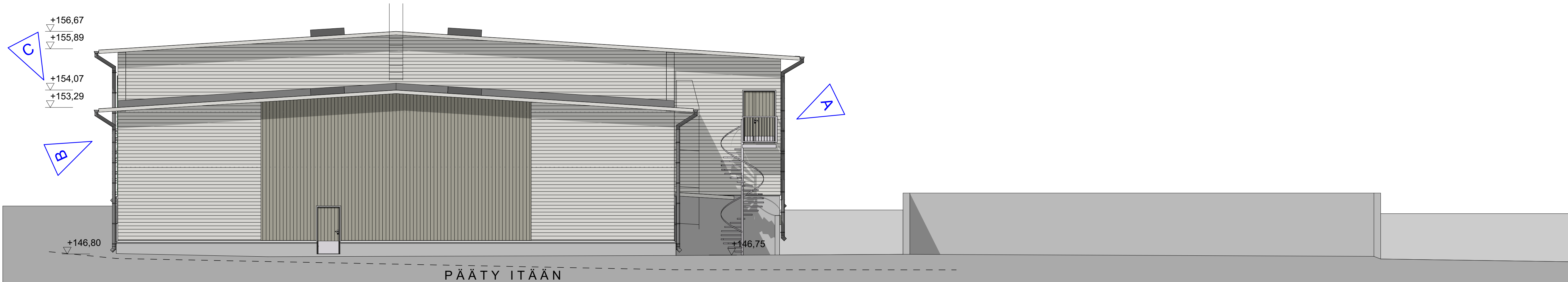
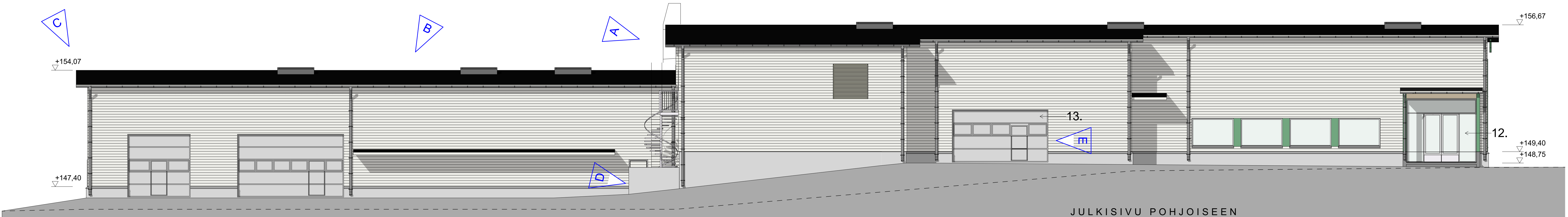
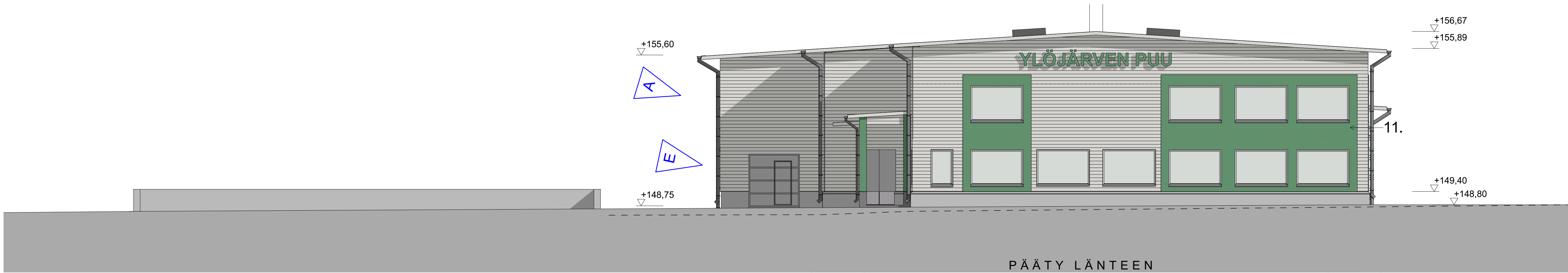
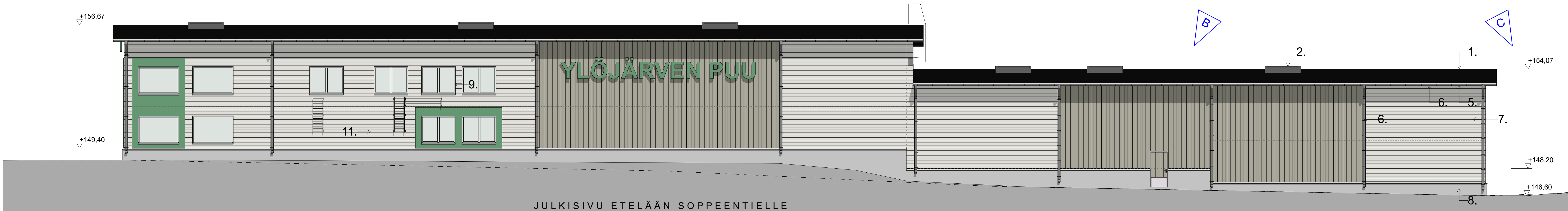
SFS-EN 14080. Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 18.11.2013.

Liite 1. Insinööritoimisto Markku Posti Oy:n pääpiirustukset



J	01.11.2017	NOSTO-OVIMUUTOKSIA	JR
I	30.10.2017	NOSTO-OVEN AVAUTUMISUUNTA MUUTETTU	JR
H	27.10.2017	LISÄTTY TUKIMUURI	SA
G	25.10.2017	LISÄTTY VESIPISTEITÄ JA LATTIAKIVOJA (YHT. 8 KPL)	SA
F	20.10.2017	TÄYDENNETTY KALUSTEET KASSA-MYYNTIPISTEeseen	SA
E	19.10.2017	OVEN ALAREUNA +0,3m LATTIAPINNASTA =>PORRASASKELMAT	SA
D	19.10.2017	VAIHDETTU PUKUHUONEIDEN PAIKAT (naiset/miehet)	SA
C	19.10.2017	LISÄTTY ARKISTO-VARASTO	SA
B	19.10.2017	HALLIN ITÄOSA SIIRRETTY 0,8m ALASPÄIN	SA
A	12.10.2017	ILMANVAIHTOKONEHUONE LISÄTTY SAHAUSTILAN PÄÄLLE	SA

Kaupunginosaaja KIRKINSEUTU	Korttel/Tila 302	Tontti/Rojo 39.7 JA 39.14	Vironomaisen merkintöjä	
Rakennuksen numero RAK7	Rakennuksen numero 980-428-39 JA 980-428-39-14		Kiinteistönumero 980-428-39 JA 980-428-39-14	
Rakennustyyppi UDISIRAKENNUS	Rakennuskoko RAK1	Pintamäärä PAAPIRUSTUS	Julkisivon m ² A.02.2	
YLOJÄRVEN PUU	SOPPEITEN PUA	Pintatunnuksen sisältö POHJAPIIRROS - 1 KERROS	1:100, 1:1	
333470 YLOJÄRVI				
Suunnittelijan yhteystiedot: yhteis. osoite ja puhelinnumero INSINÖÖRIJOUSTO MARKKU POSTI OY PYHÄJÄRVENKATU 5 B 33200 TAMPERE info@markkuposti.fi - puhelin 044 700 5130			Työnumero 2107-1462.A.02.2	
Vastuunottajan suhteet: nimi, tutkinto, alajohd ja palvelus <i>Markku Posti</i> MARKKU POSTI, RI			Pintatunnuksen tunnus AR	
16.5.2017			Maus AR	
			Suunnitteluala AR	
			Tiedosto YPuu 2107-11-01.pln	

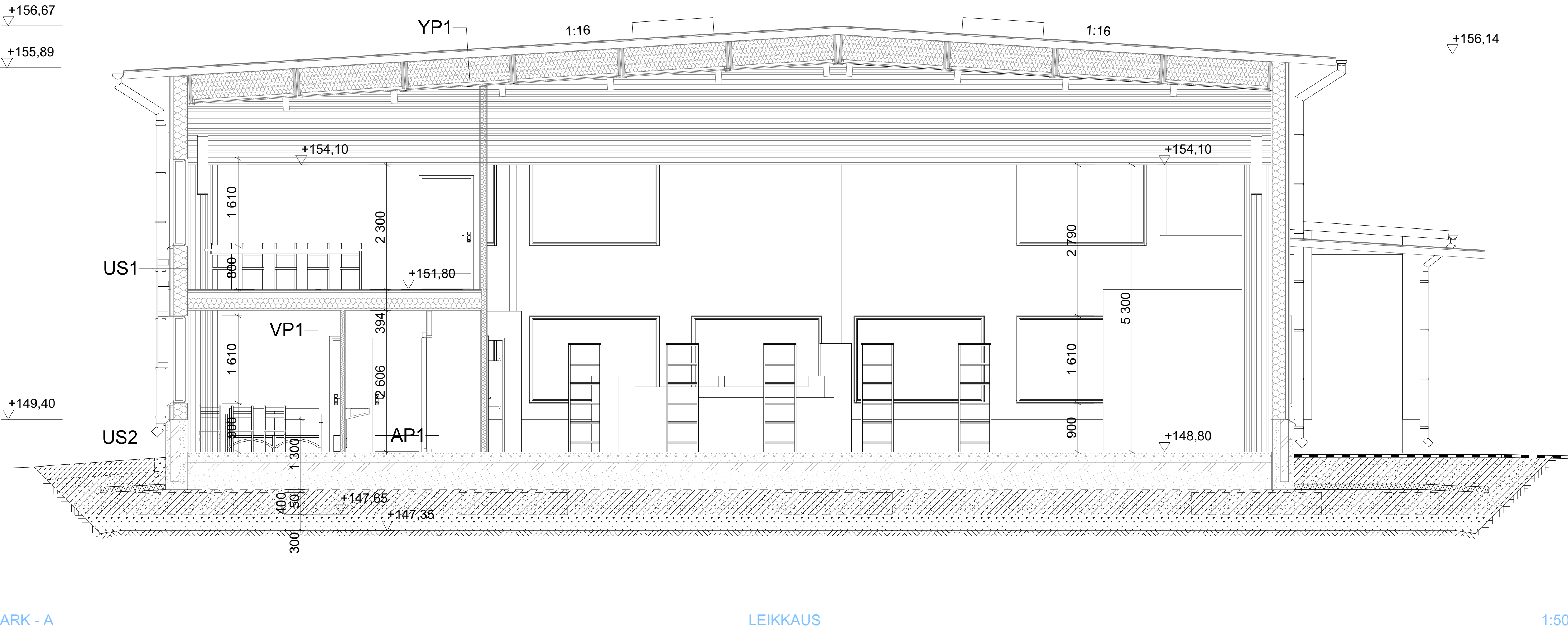


JULKISIVUMATERIAALIT JA -VÄRIT		
VESIKATTO		
1. KERMIKATE	BITUMIKERMI	MUSTA
2. KATTO-OSAT, TIKKAAT YMS.	TEHDASPINNOITETTU TERÄS	RR23 / RAL7024 TUMMANHARMAA
3. PELLITYKSET	TEHDASPINNOITETTU TERÄS	RR23 / RAL7024 TUMMANHARMAA
4. RÄYSTÄSSIVUT	TEHDASPINNOITETTU TERÄS	RR23 / RAL7024 TUMMANHARMAA
5. RÄYSTÄIDEN ALAPINNAT	ALUSLAUDOITUS, MAALATTU PUU	570X, VAALEANHARMAA
6. SADEVESIKOURUT JA SYÖKSYTORVET	TEHDASPINNOITETTU TERÄS	RR23, RAL7024 TUMMANHARMAA
JULKISIVUT		
7. ULKOSEINÄT	ULKOVERHOUSLAUDOITUS	
	- VAAKALAUDOITUS	570X, VAALEANHARMAA
	- PYSTYLAUDOITUS	575X, HARMAA
JALUSTA		
8. SOKKELIT	BETONI	HARMAA
IKKUNAT JA ULKO-OVET		
9. IKKUNAT	PUU/ALUMINI-IKKUNAT	RAL9010, VALKOINEN
10. IKKUNAPELLITYS	TEHDASPINNOITETTU METALLI	RR23, RAL7024 TUMMANHARMAA
11. IKKUNAKEHYS	SÄÄNKESTÄVÄ PUUKOMPOSIITITILEVY	M374, VIHREÄ
12. LASIULKO-OVI	TEHDASPINNOITETTU METALLI	RR23, RAL7024 TUMMANHARMAA
13. NOSTO-OVET, LIUKUOVI	TEHDASPINNOITETTU METALLI	RAL 9006, VALKOALUMIINI

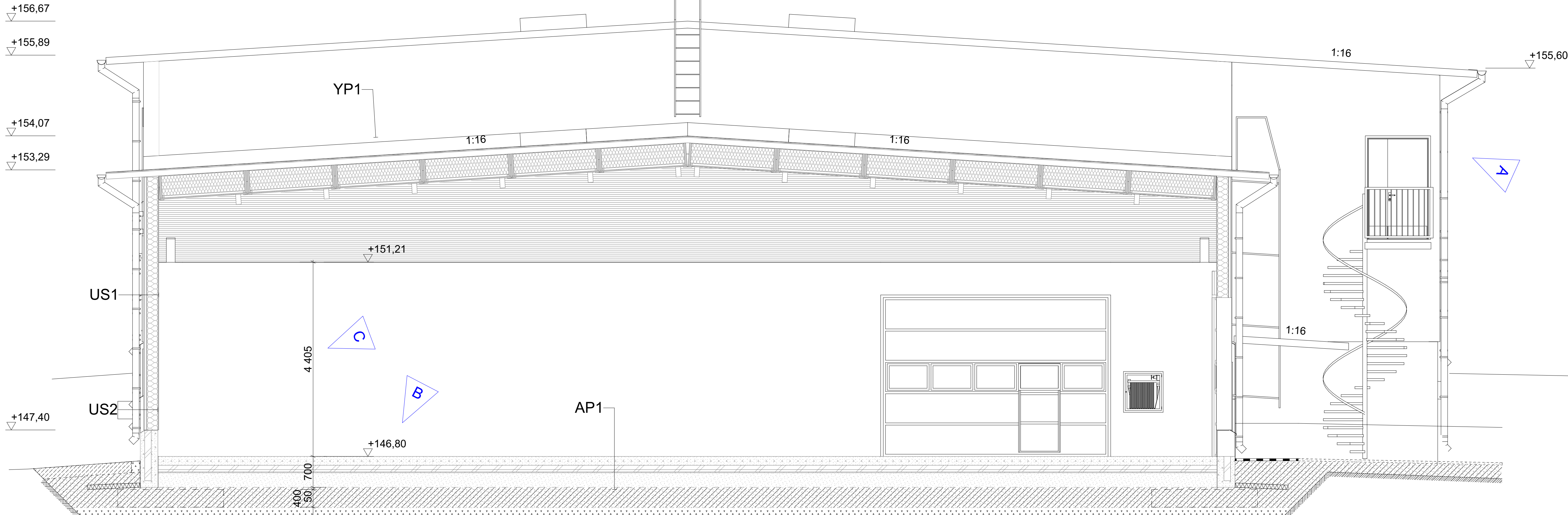
Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24 (EUREF-FIN)
Korkeusjärjestelmä: N2000

E	01.11.2017	NOSTO-OVIMUUTOKSIA	JR
D	27.10.2017	LISÄTTY TUKIMUURI	SA
C	26.10.2017	HALLIN ITÄPÄÄDYN KORKEUS MUUTETTU -0,3m	SA
B	19.10.2017	HALLIN ITÄPÄÄTY SIIRRETTY 0,8m ALASPÄIN	SA
A	12.10.2017	LISÄTTY ILMANVAIHTOKONEHUONE SAHAUSTILAN PÄÄLLE	SA

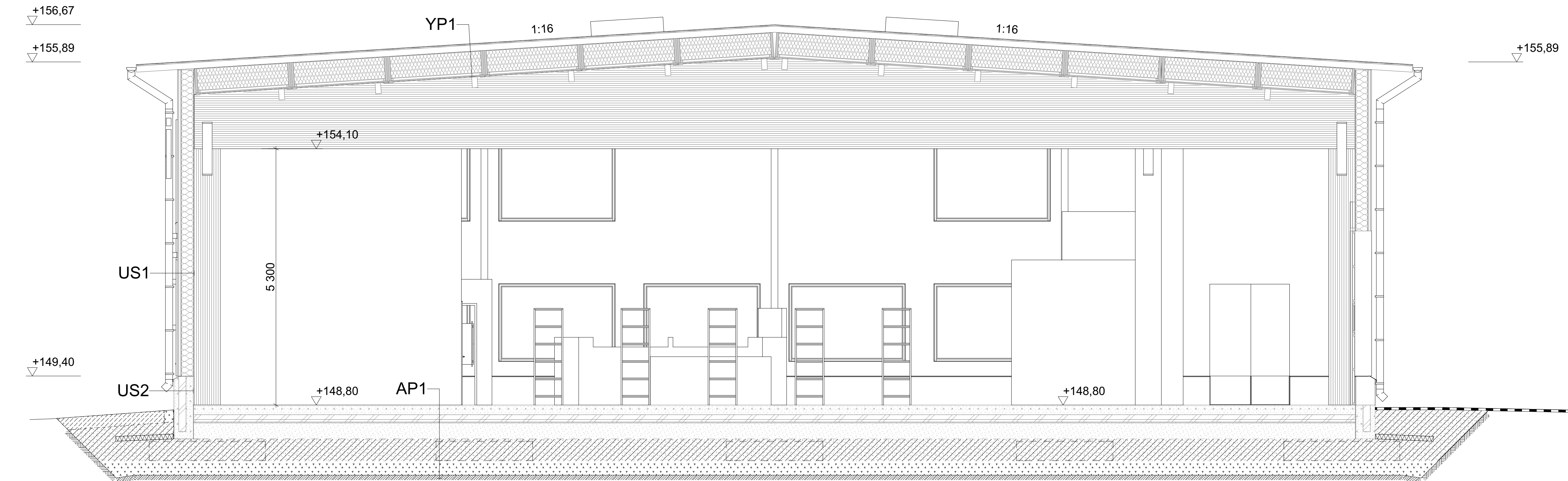
Kaupunginosa/Kylä KIRKKONSEUTU	Korttel/Tila 302	Tontti/Ries 39.7 JA 39.14	Viranomaisien merkintä	
Rakennuksen numero/Rakennustunnus RAK7	Kintestötunnus 980-428-39-7 JA 980-428-39-14		Julkaisu nro A.02.4-1	
Rakennustehostus LIUDISRAKENNUS	Pääpiirustus PÄÄPIIRUSTUS		Mittakaava 1:100	
Rakennuskohde YLÖJÄRVEN PUU SOPPEENTIE 64 33470 YLÖJÄRVI	Julkisivut väreissä			
Suunnittelijan yhteystiedot: yritys, osoite ja puhelinnumero INSINÖÖRITOIMISTO MARKKU POSTI OY PYHÄJÄRVENKATU 5 B 33200 TAMPERE info@markkupositi.fi - puhelin 044 700 5130 Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, aluekelpoisuus ja päiväys Markku Posti MARKKU POSTI, RI		Työnumero 2017-1462.A.02.4-1	Piirustuksen tunnus E	Muutos Suunnitteluala Tiedosto YPPuu 2017-11-01.pln
		17.5.2017	AR	



ARK - A LEIKKAUS



ARK - C LEIKKAUS



ARK - B LEIKKAUS

VESIKATTO JA YLÄPOHJA = YP1

YLÄPOHJAELEMENTTI - P2-PALOLUOKAN HALLIRAKENNUS - MAX 2 KRS - PALOLUOKKA R30

20 mm	VESIKATE, KATTOKALTEVUUS 1:16 - PVC-KATE TAI BITUMIKERMIKATE
150 mm	KANTAVARAKENNE, PUULLEVY
	KANTAVARAKENNE JA TUULETUSVÄLI, PUURANGAT
	KATTOELEMENTIN KANTAVARAKENNE, PUUPALKIT
450 mm	YLÄPOHJAN YLÄPINTA (B-s1, d0), TUULENSUOJALEVY TARVITTAESSA
	LÄMMÖNERISTYS (A2-s1, d0), MINERAALIVILLA, KIVIVILLA KATTOELEMENTIN PALOMITOITUKSEN MUKAAN
0.2 mm	ERISTEPAKSUUSTOLERANSSI T2 (EN 823)
15 mm	ILMAN- JA HÖYRYNSULKU, MUOVI (SFS 4225 E-LUOKKA)
50 mm	ALAKATON KANNATUS, PUURANGAT K400
15 mm	PALOSUOJAUS / MAHDOLLINEN LEVYJÄYKISTE, PUU- TAI KIPSILEVY
15 mm	PALOSUOJAUS / SUOJAJÄRHOUS K210 / SISÄJÄRHOUS, KIPSILEVY
U-ARVO 0,09 W/m²K	

ULKOSEINÄ = US1

EI-KANTAVAILKOSEINÄELEMENTTI - P2-PALOLUOKAN HALLIRAKENNUS - MAX 2 KRS

28 mm	ULKOVERHOUS, PUULJUKSIVUARKKITEHTISUUNNITELMAN MUKAAN
42 mm	ULKOVERHOUSKSEN KIINNITYS JA TUULETUS, PUURANGAT K600
10 mm	TUULENSUOJA, TUULENSUOJAKIPSILEVY
250 mm	PYSTYSUUNTAINEN RANKARUNKO, C / GL / KERTO
	LÄMMÖNERISTYS (A2-s1, d0), MINERAALIVILLA, KIVIVILLA
0.2 mm	ERISTEPAKSUUSTOLERANSSI T2 (EN 823)
0.2 mm	ILMAN- JA HÖYRYNSULKU, MUOVI (SFS 4225 E-LUOKKA)
15 mm	SUOJAJÄRHOUS K210 / SISÄJÄRHOUS, KIPSILEVY
U-ARVO 0,17 W/m²K	

ALAPOHJA = AP1

200 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN
150 mm	MAANVARAINEN TB-LAATTARAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN
150 mm	LÄMMÖNERISTE RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN, FINNFOAM FL-300 TAI VASTAAVA
20 mm	TASAUSHIEKKA (SUODATINKANGAS)
≥ 300 mm	SALAOJAJOITUSKERROS, KONEELLISESTI TIIVISTETTY SORA- / MURSKETÄYTTÖKERROKSET POHJARAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN (SUODATINKANGAS)
	PERUSMAA
U-ARVO: 0,18 W/m²K	

VÄLIPOHJA = VP1

PALONKESTOLUOKKA REI 30

215,5 mm	PINTAMATERIAALI HUONESELOSTEEN MUKAAN
22 mm	KIPSILEVY 2 * GYPROC GL15 LAPIKAS, LEVYSAUMAT LIMITETÄÄN
≥ 175 mm	HARVALAUDOITUS s22*100 K300
100...200mm	PUURUNKO, PALKIT h=175 K450 (K600) RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN, VÄLISSÄ
22 mm	ÄÄNIERISTYS, MINERAALIVILLA
15,4 mm	HARVALAUDOITUS s22*100 K400
	VERHOUSLEVY, GYPROC GF PROTECT F
	PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN

VÄLISEINÄ

(2")12,5 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN
≥ 75 mm	KIPSILEVY, GYPROC GEK13
(2")12,5 mm	PUU- TAI TERÄSRUNKO VÄH. 48*75 K600 (+ MINERAALIVILLA) RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN
	LEVYIT, RUNKO JA MINERAALIVILLA HUOM!
	- PALONKESTOAIKA, ILMAÄÄNIERISTÄVYYS, KANTAVUUS, SEINÄN KORKEUS
	KIPSILEVY, GYPROC GEK13
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN

SOKKELI = US2

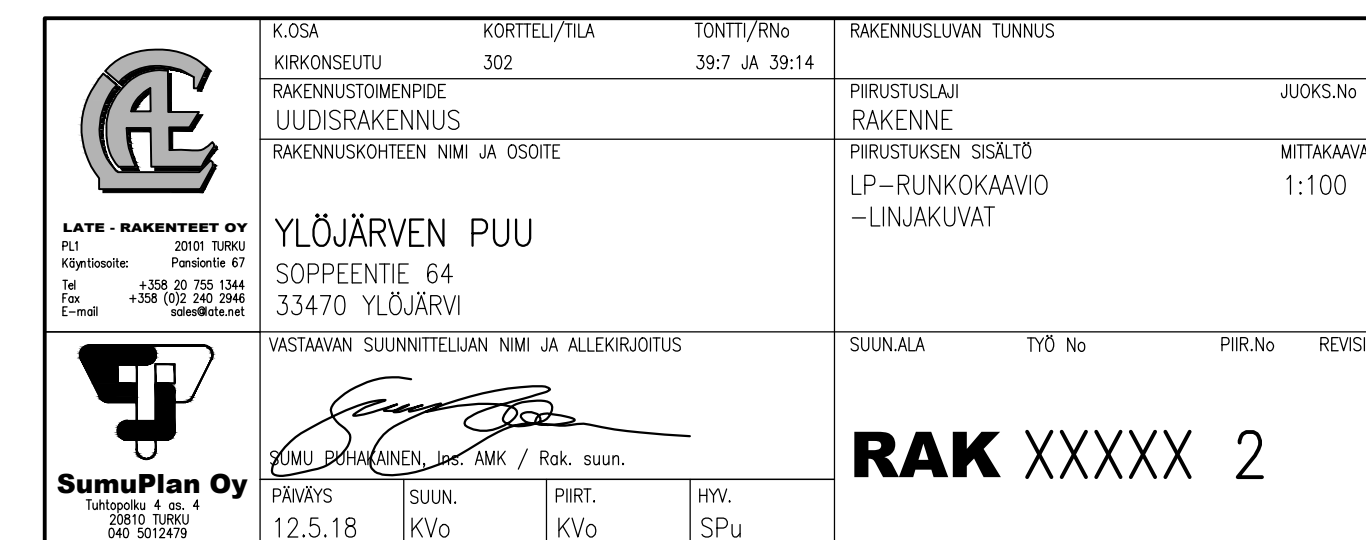
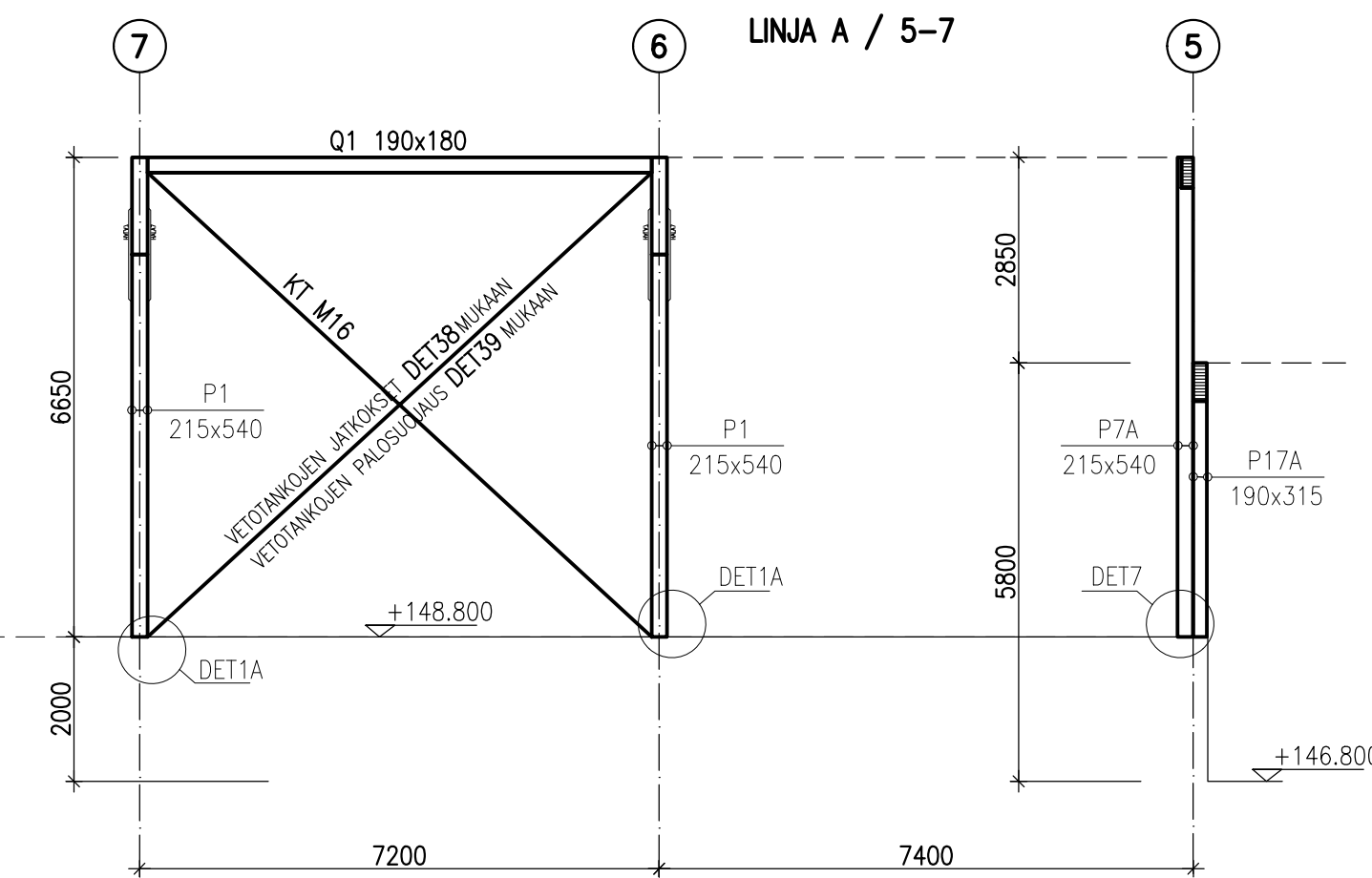
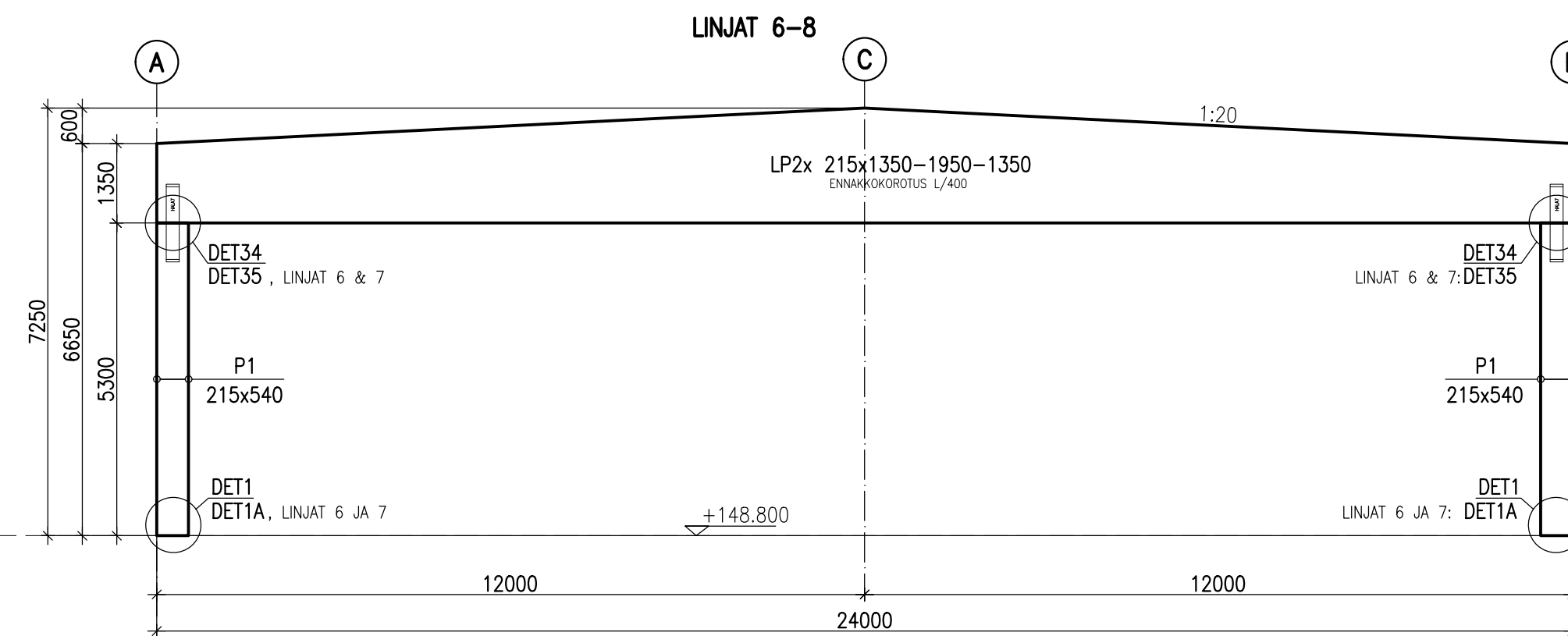
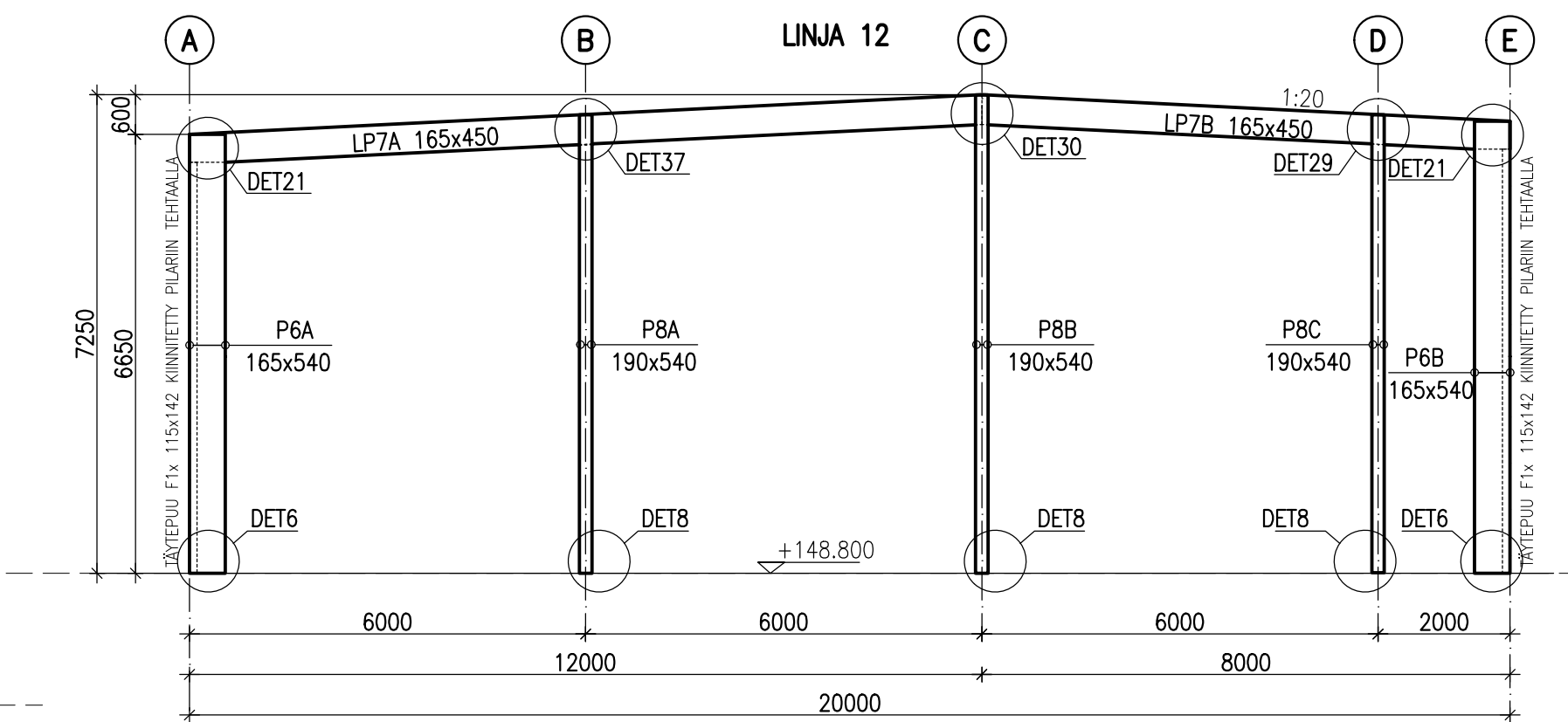
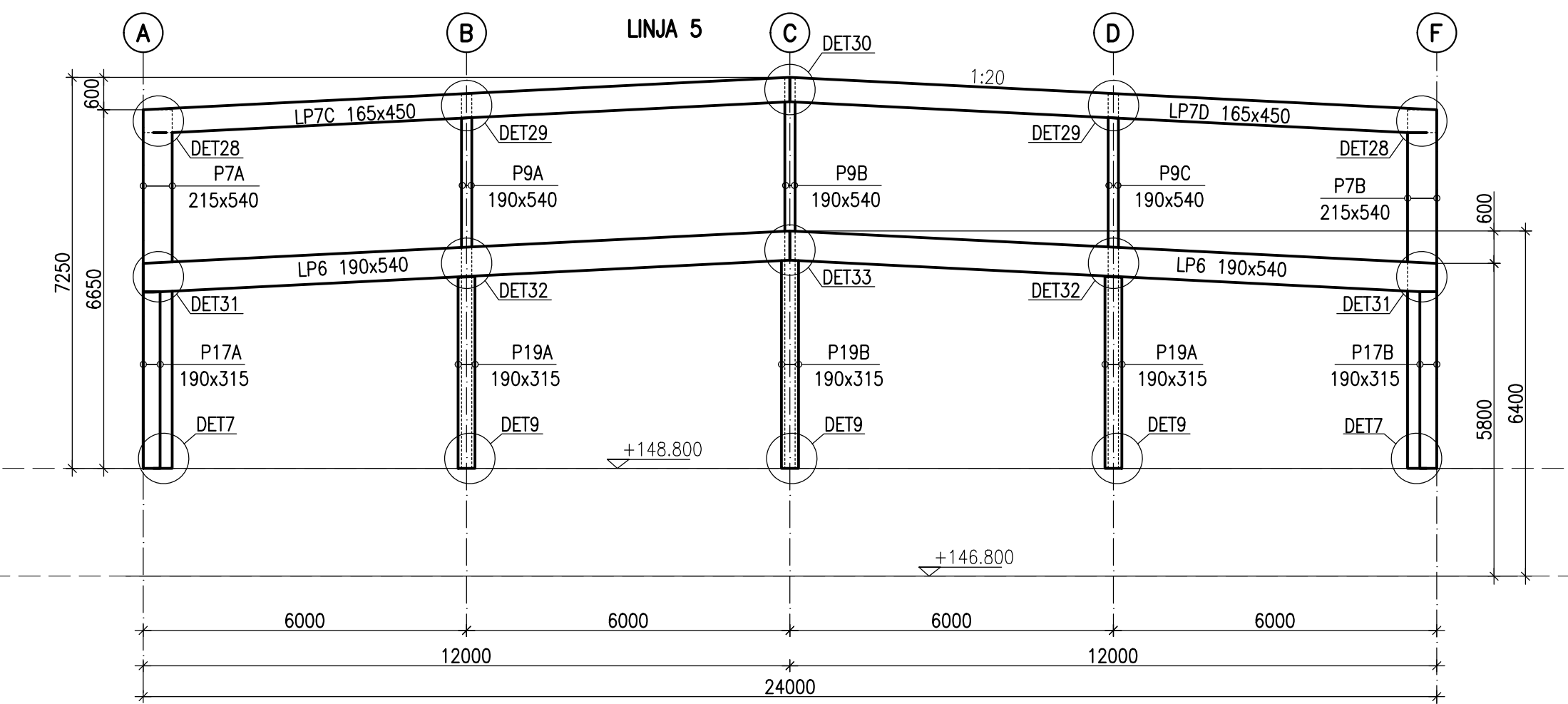
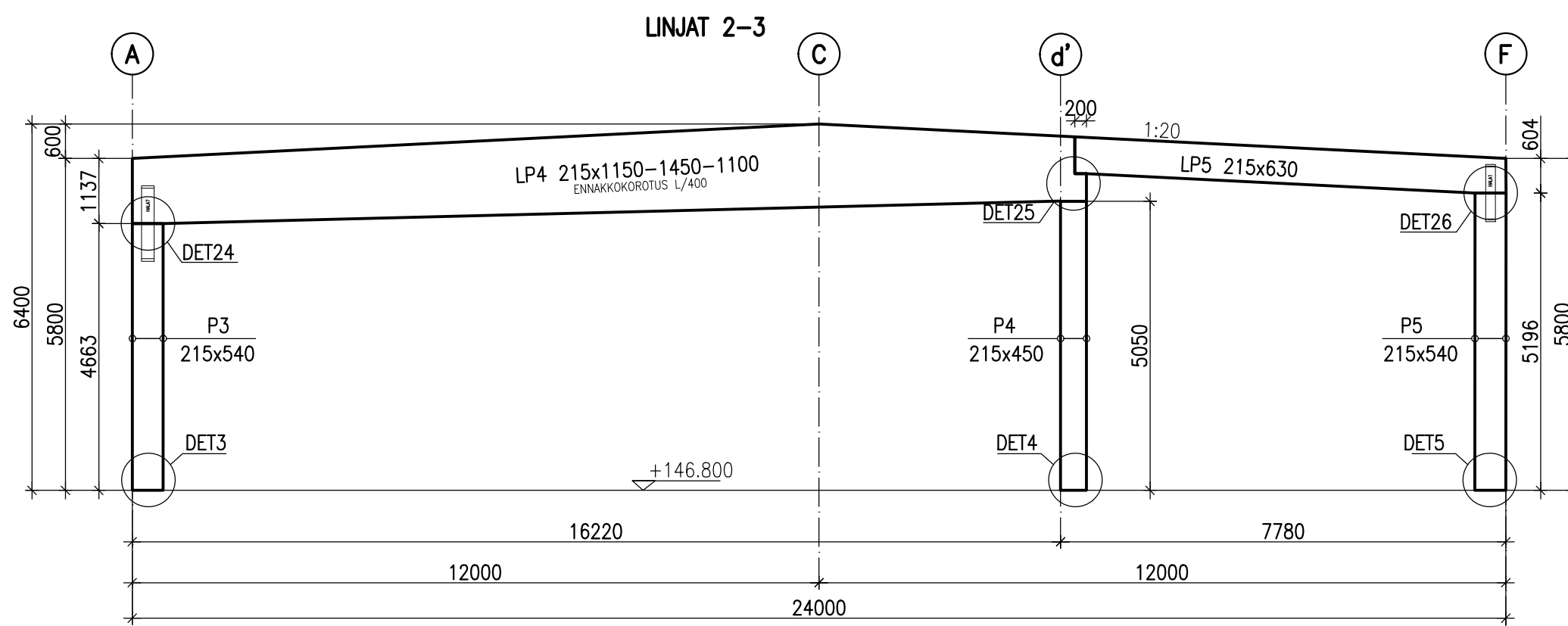
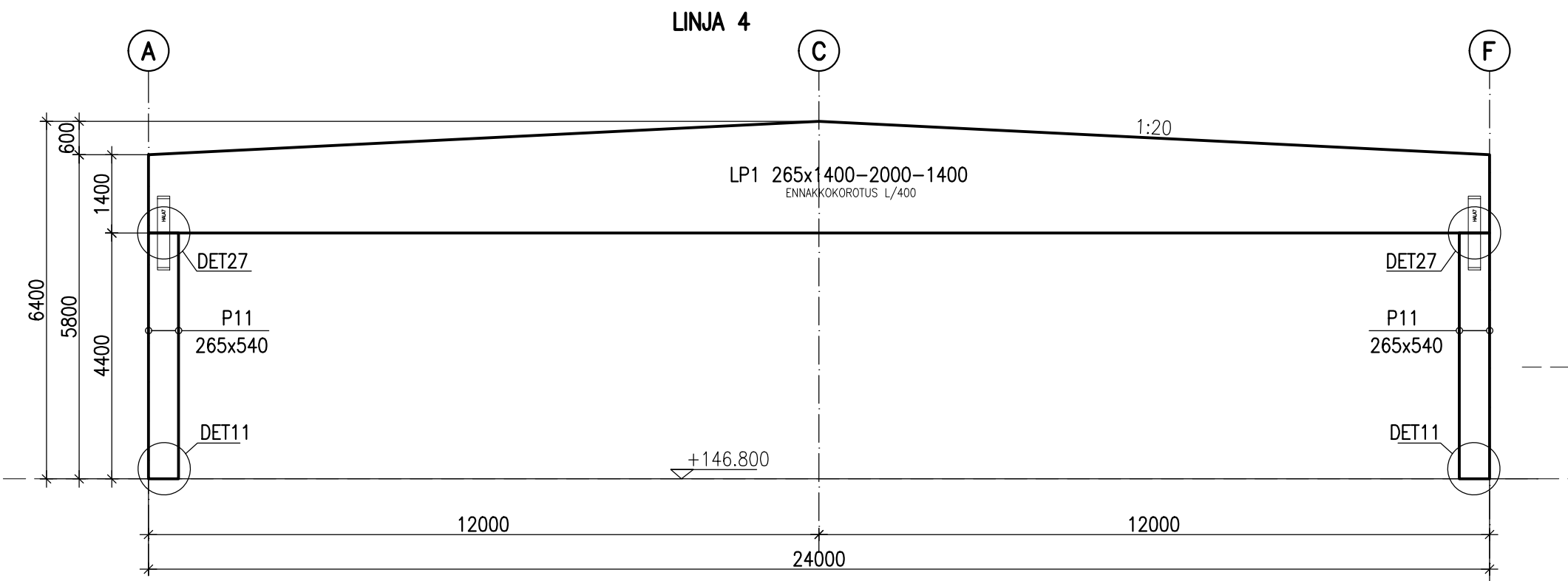
SOKKELELEMENTTI TAI PAIKALLA TEHTY ESIM. SOKLEX-MUOTTIVALU RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN

100 mm	BETONINEN ULKOJUORI)
150 mm	LÄMMÖNERISTE, SPU TAI VASTAAVA) SANDWICH-ELEMENTTI
150 mm	BETONINEN SISÄJUORI)
	TASOITE JA PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTEEN MUKAAN	
U-ARVO: 0,16 W/m²K		

Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24 (EUREF-FIN)
Korkeusjärjestelmä: N2000

C	26.10.2017	HALLIN ITÄPÄÄDYN KORKEUS MUUTETTU -0,3m	SA
B	19.10.2017	HALLIN ITÄPÄÄTY SIIRRETTY 0,8m ALASPÄIN	SA
A	12.10.2017	LISÄTTY ILMANVAIHTOKONEHUONE SAHAUSTILAN PÄÄLLE	SA
Rakennusosa: KIRKKONSELTU			
Rakennuksen numero: 302			
Rakennuksen nimi: RAK7			
Rakennuksen nimi: UUDISRAKENNUS			
Rakennuskohde: YLÖJÄRVEN PUU SOPPEENTIE 64 33470 YLÖJÄRVI			
Suunnittelijan yhteystiedot: yritys, osoite ja puhelinnumero			
INSINÖÖRITOIMISTO MARKKU POSTI OY			
PYHÄJÄRVENKATU 5 B 33200 TAMPERE			
info@markkuposti.fi - puhelin 044 700 5130			
Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, allekirjoitus ja pätevyys			
MARKKU POSTI, RI			
Tiedosto			
2017-1462.A.02.5			
C			
16.5.2017			
YPPuu 2017-10-26.pln			

Liite 2. LP-runkokaavio pohja- ja leikkauskuva



Liite 3. LP-liitokset perustuksiin



LATE - RAKENTEET OY
PL1 20101 TURKU
Käyntiosoite: Pansiontie 67
Tel +358 20 755 1344
Fax +358 (0)2 240 2946
E-mail sales@late.net



SumuPlan Oy
Tuhtopolku 4 os. 4
20810 TURKU
040 5012479

K.OSA KIRKONSEUTU	KORTTELI/TILA 302	TONTTI/RNo 39:7 JA 39:14	RAKENNUSLUVAN TUNNUS
RAKENNUSTOIMENPIDE UUDISRAKENNUS			PIIRUSTUSLAJI RAKENNE
RAKENNUSKOHTeen NIMI JA OSOITE YLÖJÄRVEN PUU SOPPEENTIE 64 33470 YLÖJÄRVI			JUOKS.No MITTAKAAVAT 1:10
VASTAAVAN SUUNNITTELIJAN NIMI JA ALLEKIRJOITUS  SUMU PUHAKAINEN, Ins. AMK / Rak. suunn.			SUUN.ALA TYÖ No PIIR.No REVISIO RAK XXXXX 3
PÄIVÄYS 12.5.18	SUUN. KVo	PIIRT. KVo	HYV.



KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV0

PIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPER I

A4

TUNNUS

DET1

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:0

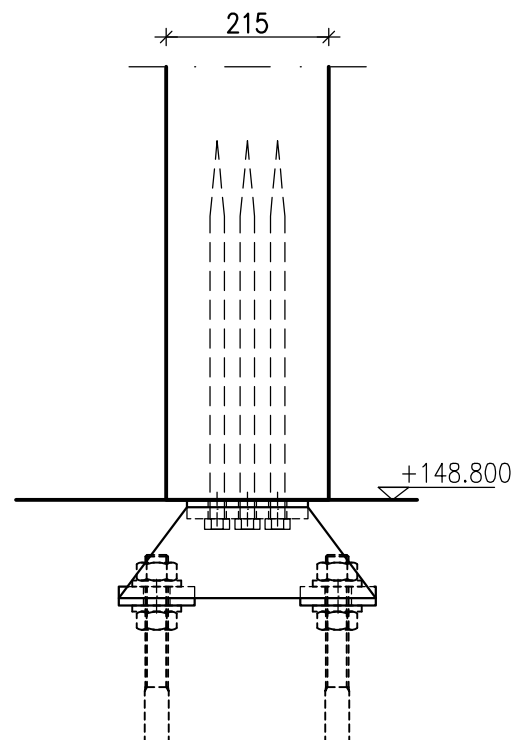
XXXXX

PIIR. N:0

3

REV.

REV. PVM.



PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$M_{gk} = 3 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 7 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 57 \text{ kNm}$

$M_d = 97 \text{ kNm}$

$N_{gk} = 97 \text{ kN} \rightarrow N_{gk, \min} = 69 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 212 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 19 \text{ kN}$

Kiinnitetään tehtäällä:

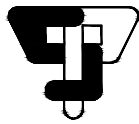
-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

—KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET1A

TYÖ N:O

XXXXX

PIIR. N:O

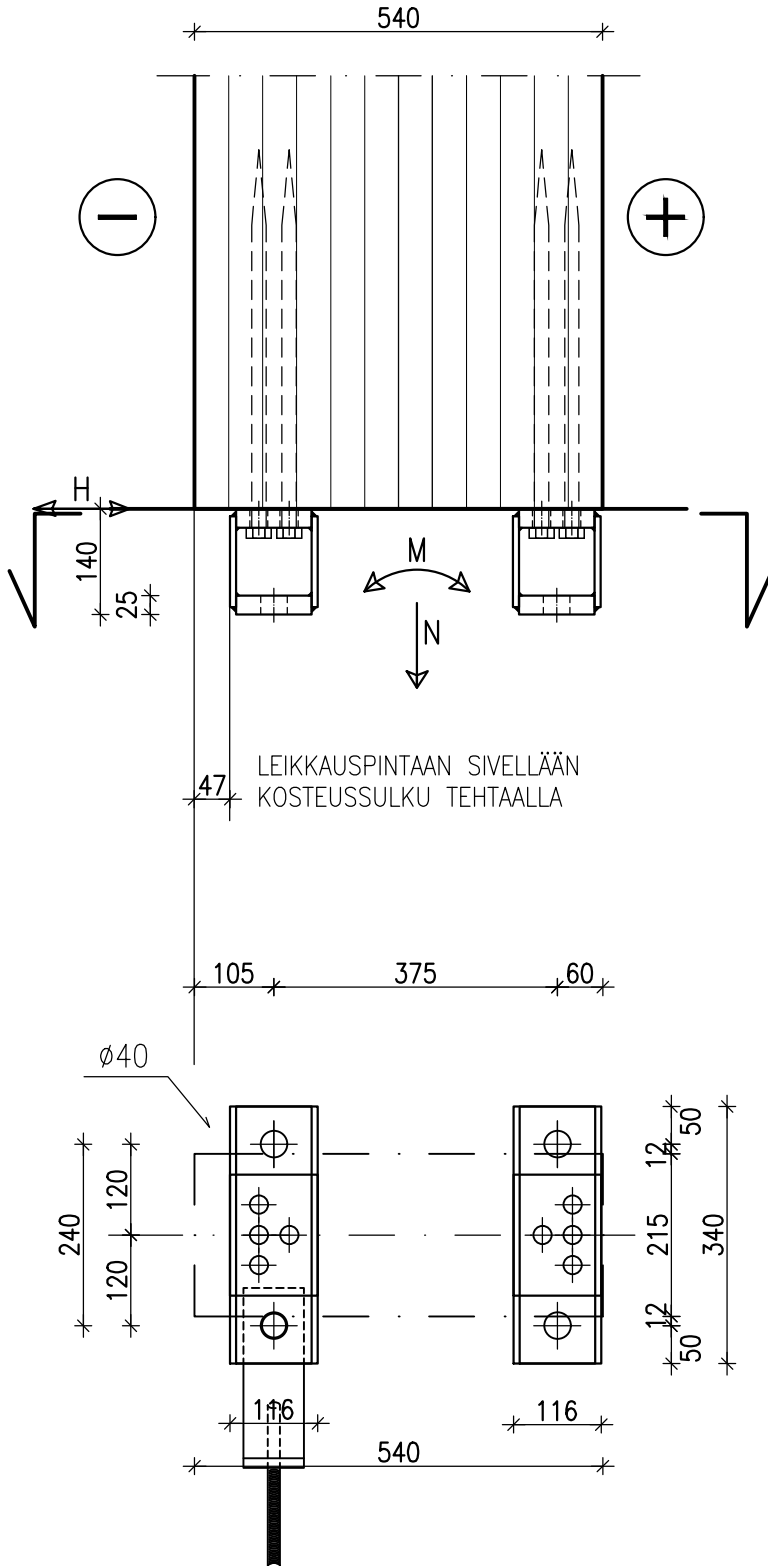
3

REV.

REV. PVM.

MÄÄRÄ

4 KPL

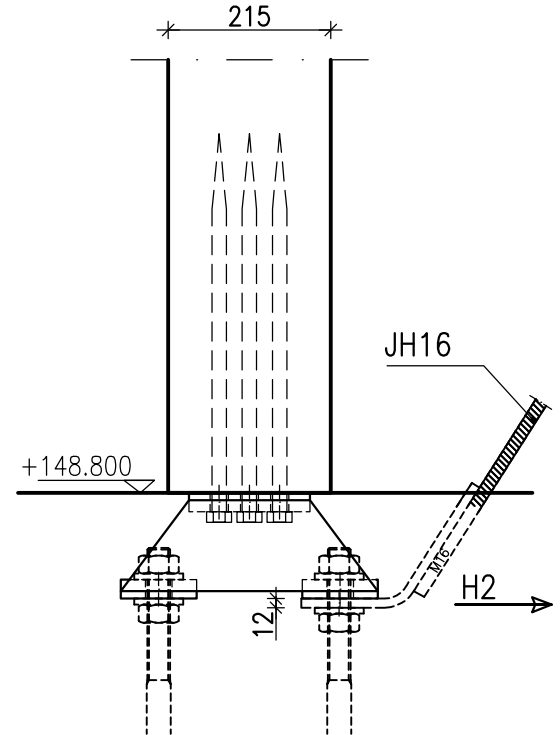


Kiinnitetään tehtaalla:

-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta

**PERUSPULTIT M30**

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$M_{gk} = 3 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 7 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 57 \text{ kNm}$

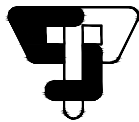
$M_d = 97 \text{ kNm}$
 $N_{gk} = 97 \text{ kN} \rightarrow N_{gk,min} = 69 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 212 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 19 \text{ kN}$

LISÄKSI SEINÄJÄYKISTEELTÄ:

$N_{gk} = \pm 7 \text{ kN}$
 $N_{qk} = \pm 14 \text{ kN}$
 $N_{wk} = \pm 5 \text{ kN}$
 $H_{2gk} = 8 \text{ kN}$
 $H_{2qk} = 18 \text{ kN}$
 $H_{2wk} = 6 \text{ kN}$



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET2

TYÖ N:O

XXXXX

PIIR. N:O

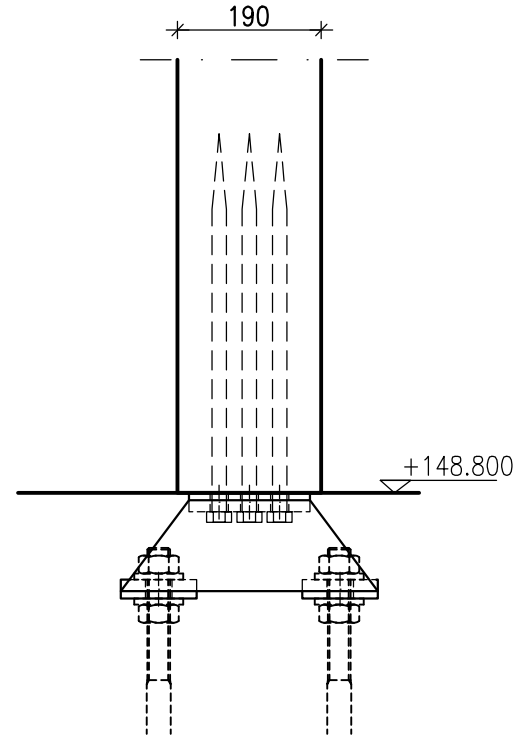
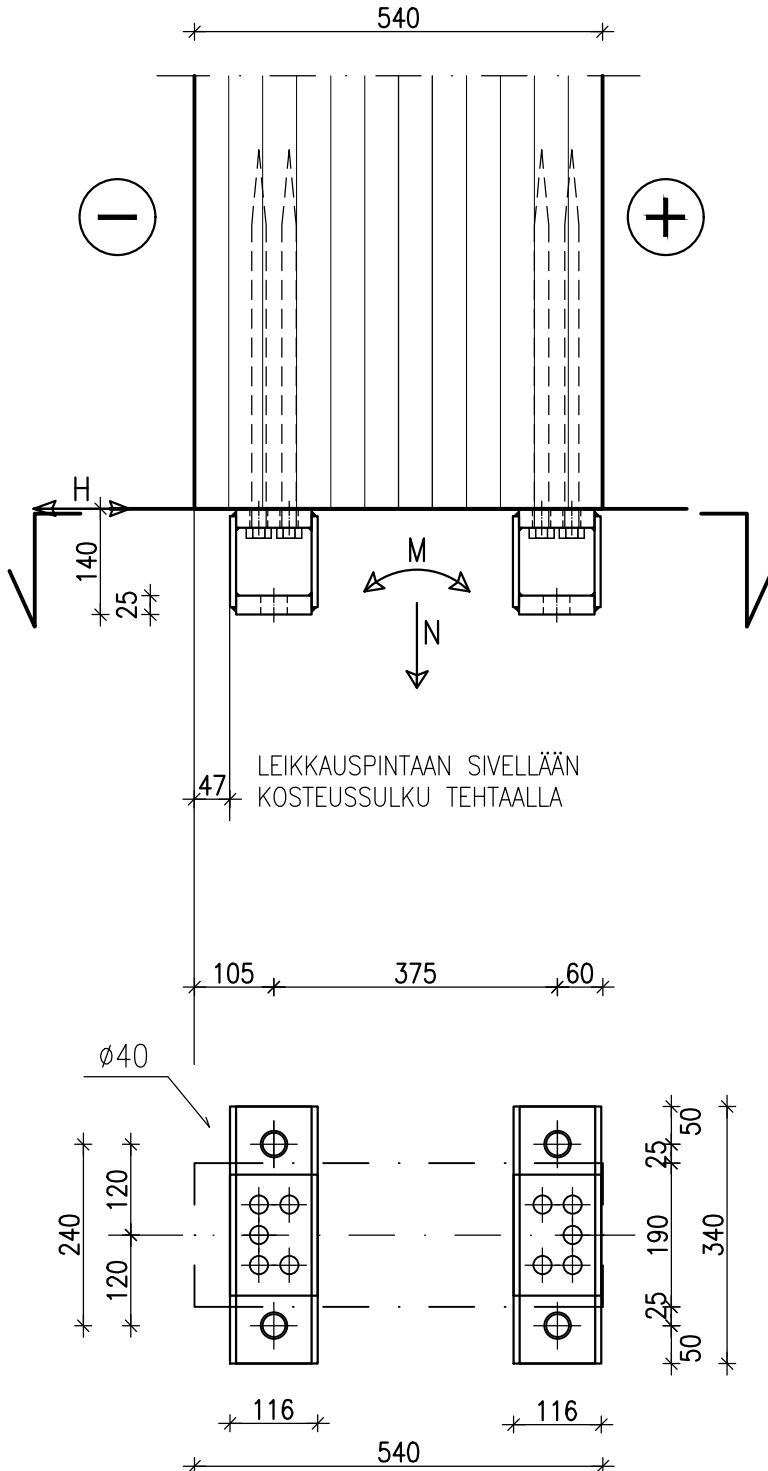
3

REV.

REV. PVM.

MÄÄRÄ

4 KPL



PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$M_{gk} = 3 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 7 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 67 \text{ kNm}$

$M_d = 112 \text{ kNm}$

$N_{gk} = 96 \text{ kN} \rightarrow N_{gk,min} = 67 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 209 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 22 \text{ kN}$

Kiinnitetään tehtaalla:

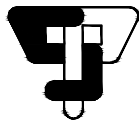
-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET3

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

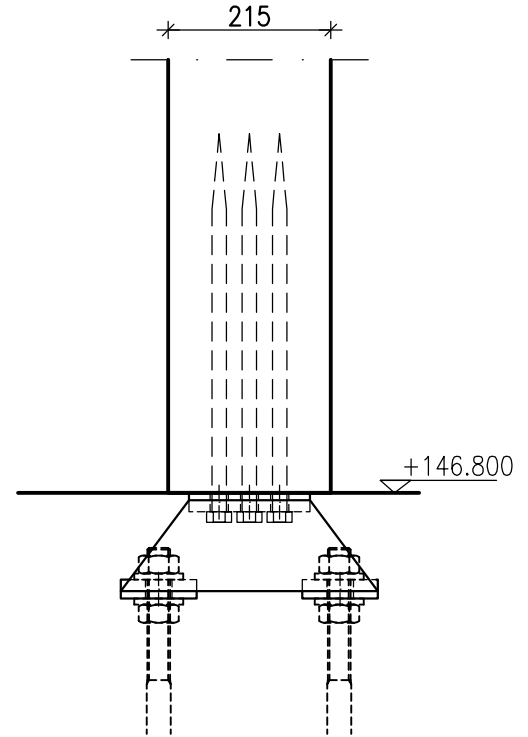
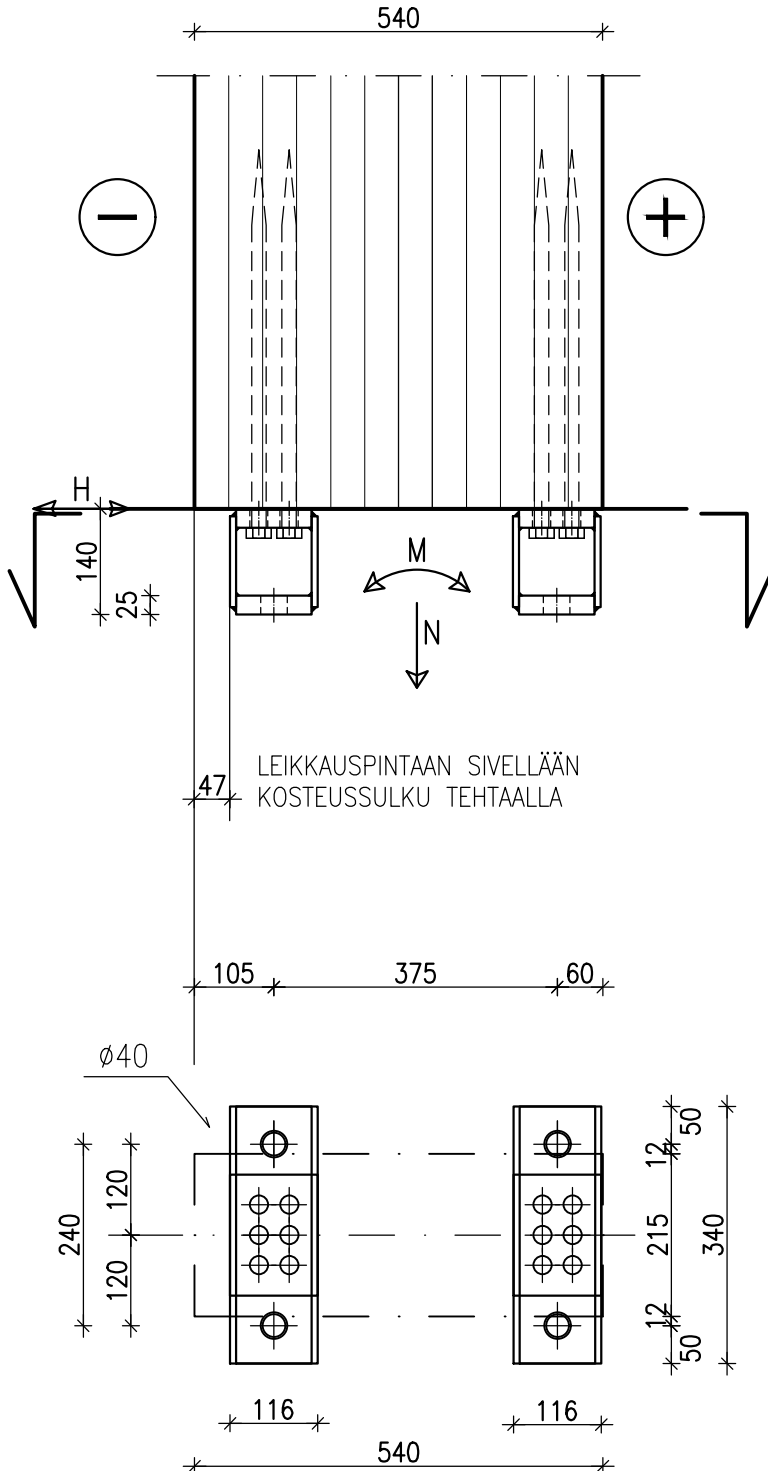
XXXXX

PIIR. N:O

3

REV.

REV. PVM.



PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

Mgk = 8 kNm	} Md = 127 kNm
Mqk = 18 kNm	
Mwk = 66 kNm	
Ngk = 86 kN	---> Ngk,min = 59 kN
Nqk = 187 kN	
Hgk = 2 kN	
Hqk = 4 kN	
Hwk = 23 kN	

Kiinnitetään tehtaalla:

-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET4

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

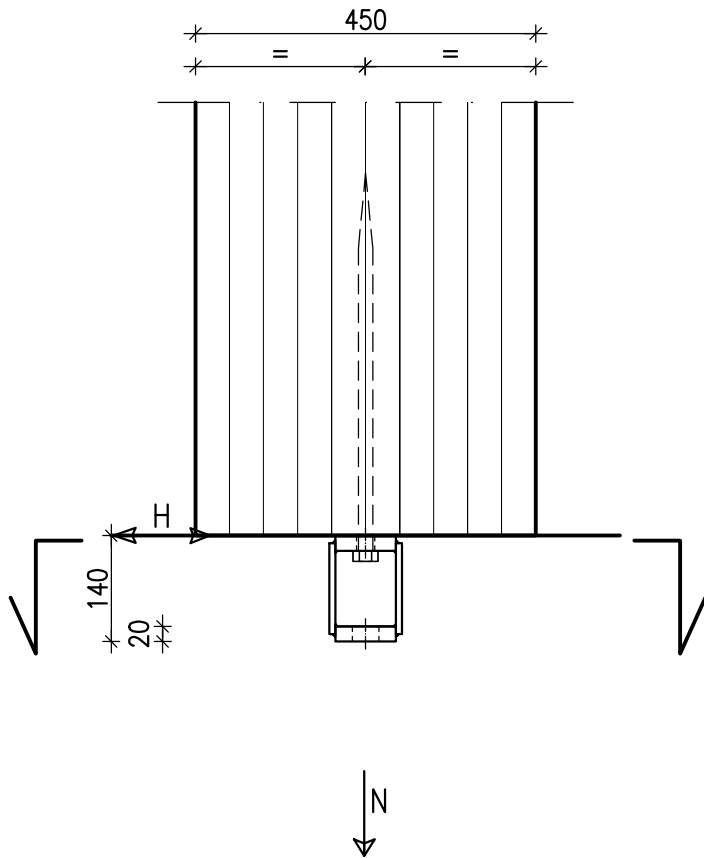
XXXXXX

PIIR. N:O

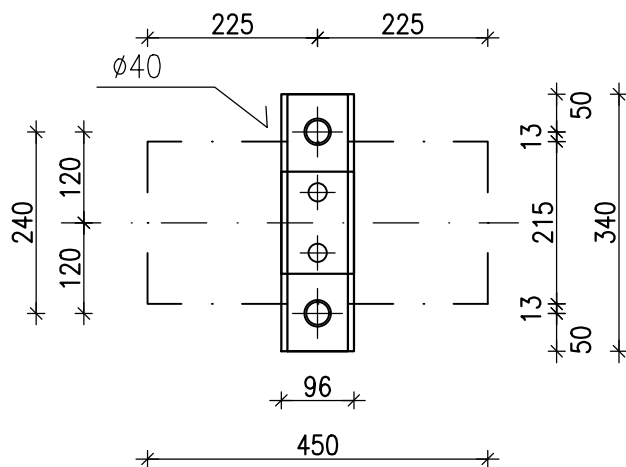
3

REV.

REV. PVM.



LEIKKAUSPINTAAN SIVELLÄÄN
KOSTEUSSULKU TEHTAALLA

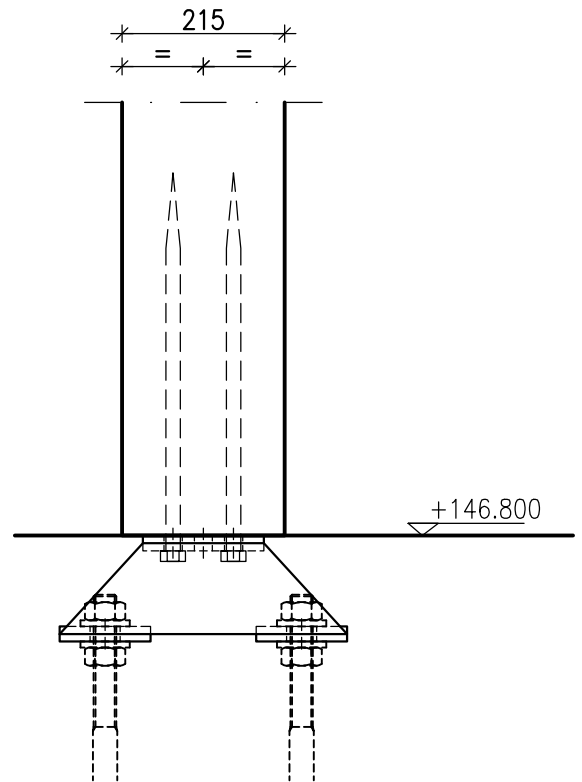


Kiinnitetään tehtaalla:

–TERÄSKENKÄ PH13C–1, 1 kpl

–KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)
(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

Ngk = 114 kN

Nqk = 248 kN



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET5

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

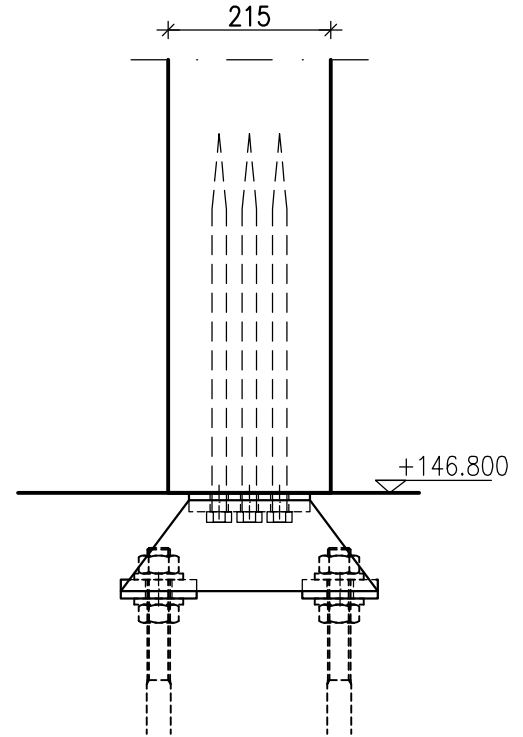
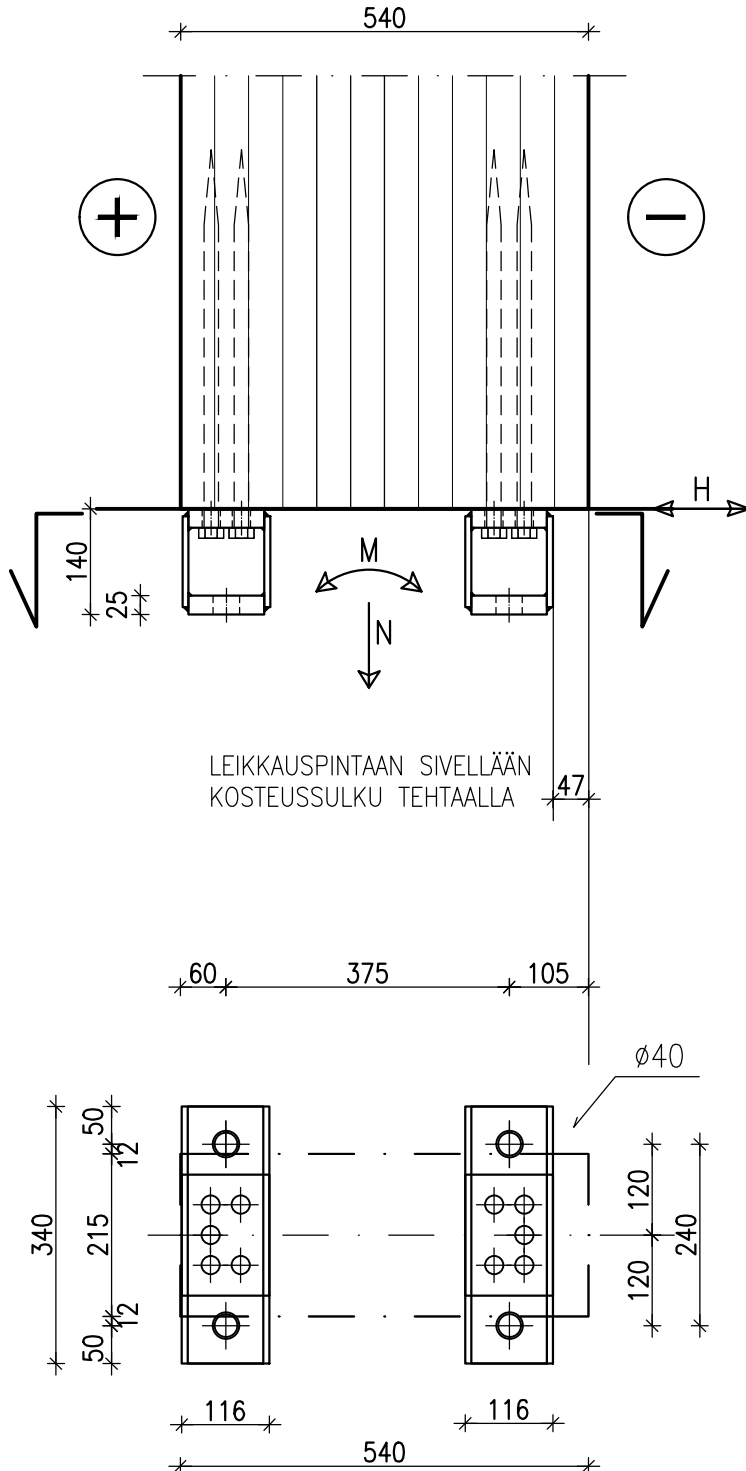
XXXXX

PIIR. N:O

3

REV.

REV. PVM.



PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

Mgk = 6 kNm	} Md = 98 kNm
Mqk = 14 kNm	
Mwk = 51 kNm	
Ngk = 43 kN	---> Ngk,min = 27 kN
Nqk = 95 kN	
Hgk = 1 kN	
Hqk = 3 kN	
Hwk = 16 kN	

Kiinnitetään tehtaalla:

-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



YLÖJÄRVEN PUU

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

12.5.18

KV

KVo

1:10

A4

DET6

4 KPL

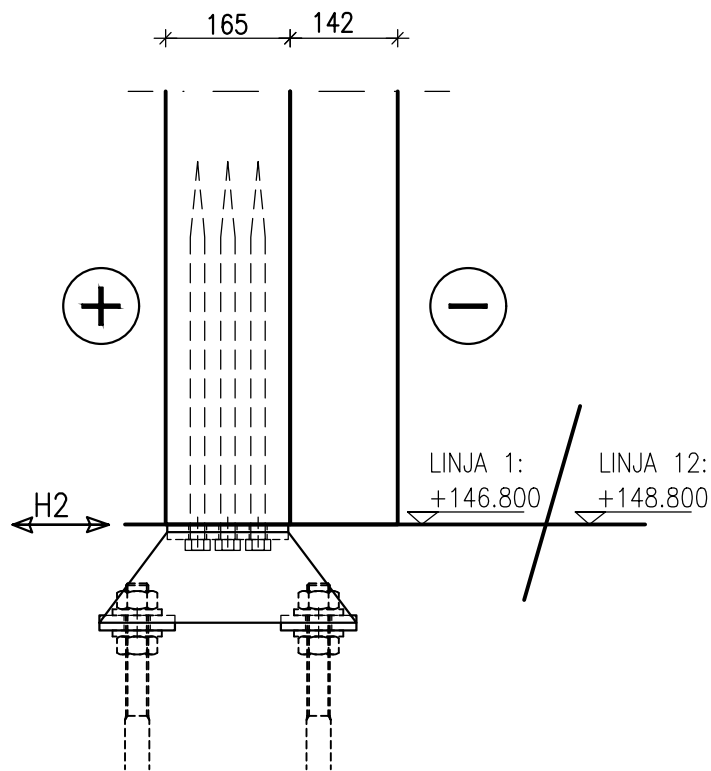
XXXXX

3

3

REV. PVM.

, JOISTA PUOLET
PEILIKUVANA



LEIKKAUSPINTAAN SIVELLÄÄN
KOSTEUSSULKU TEHTAALLA

PERUSPULTIT M30

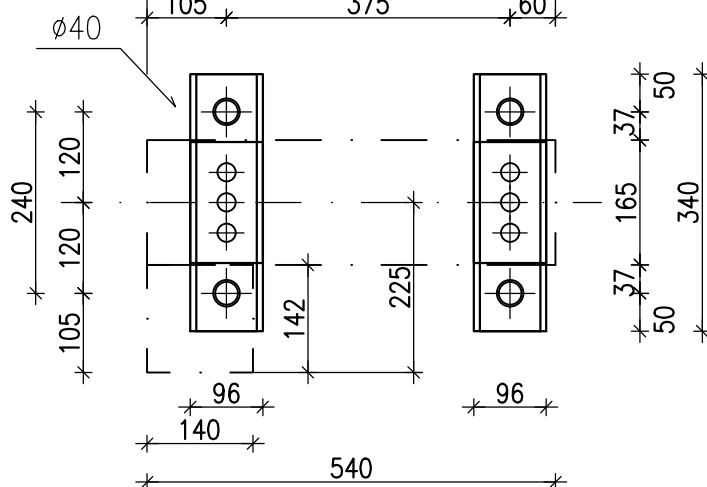
ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$$\left. \begin{array}{l} M_{gk} = 2 \text{ kNm} \\ M_{qk} = 5 \text{ kNm} \end{array} \right\} M_d = 67 \text{ kNm}$$

Mwk = 39 kNm)
Ngk = 15 kN --> Ngk,min = 12 kN

$$N_{qk} = 40 \text{ kN}$$
$$H_{gk} = 0 \text{ kN}$$
$$H_{qk} = 1 \text{ kN}$$
$$H_{wk} = 12 \text{ kN}$$
$$H_{2wk} = 4 \text{ KN}$$


Kiinnitetään tehtaalla:

–TERÄSKENKÄ PH13C–1, 2 kpl

–KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



YLÖJÄRVEN PUU

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

12.5.18

KVd

KVo

1:10

A4

DET7

2 KPL

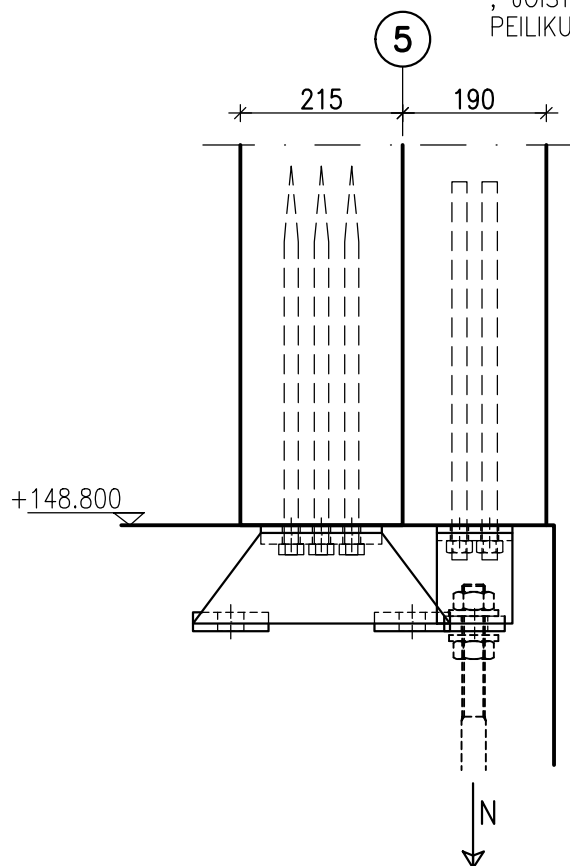
XXXXX

3

3

REV. PVM.

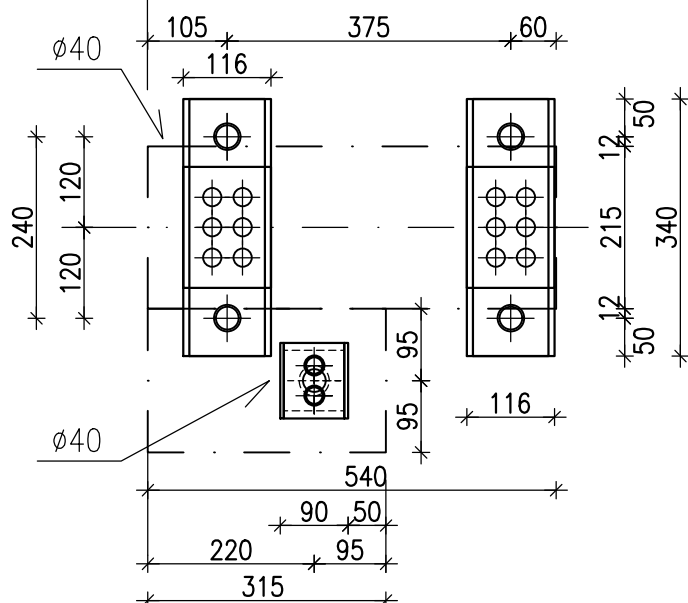
, JOISTA TOINEN
PEILIKUVANA



LEIKKAUSPINTAAN SIVELLÄÄN
KOSTEUSSULKU TEHTAALLA

PERUSPULTIT M30

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)
(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)



Kiinnitetään tehtäällä:

- TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl
 -TERÄSKENKÄ SH12C, 1 kpl
 -KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8
 -- > kts. määrä kuvasta

RASITUSARVOT PILARILTA P7x:

$M_{gk} = 4 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 16 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 71 \text{ kNm}$

$M_d = 128 \text{ kNm}$

$N_{gk} = 26 \text{ kN} \rightarrow N_{gk, \min} = 27 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 113 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 2 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 22 \text{ kN}$

RASITUSARVOT PILARILTA P17x:

$$\begin{aligned} N_{gk} &= 20 \text{ kN} \\ N_{gk} &= 77 \text{ kN} \end{aligned}$$



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET8

MÄÄRÄ

3 KPL

TYÖ N:O

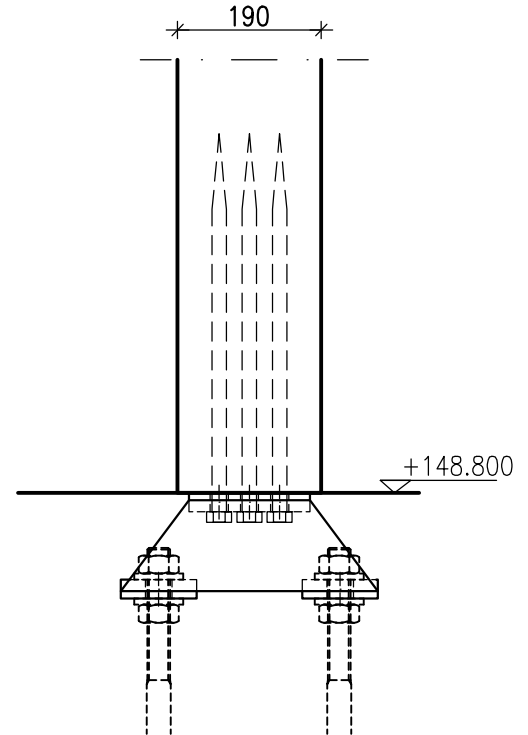
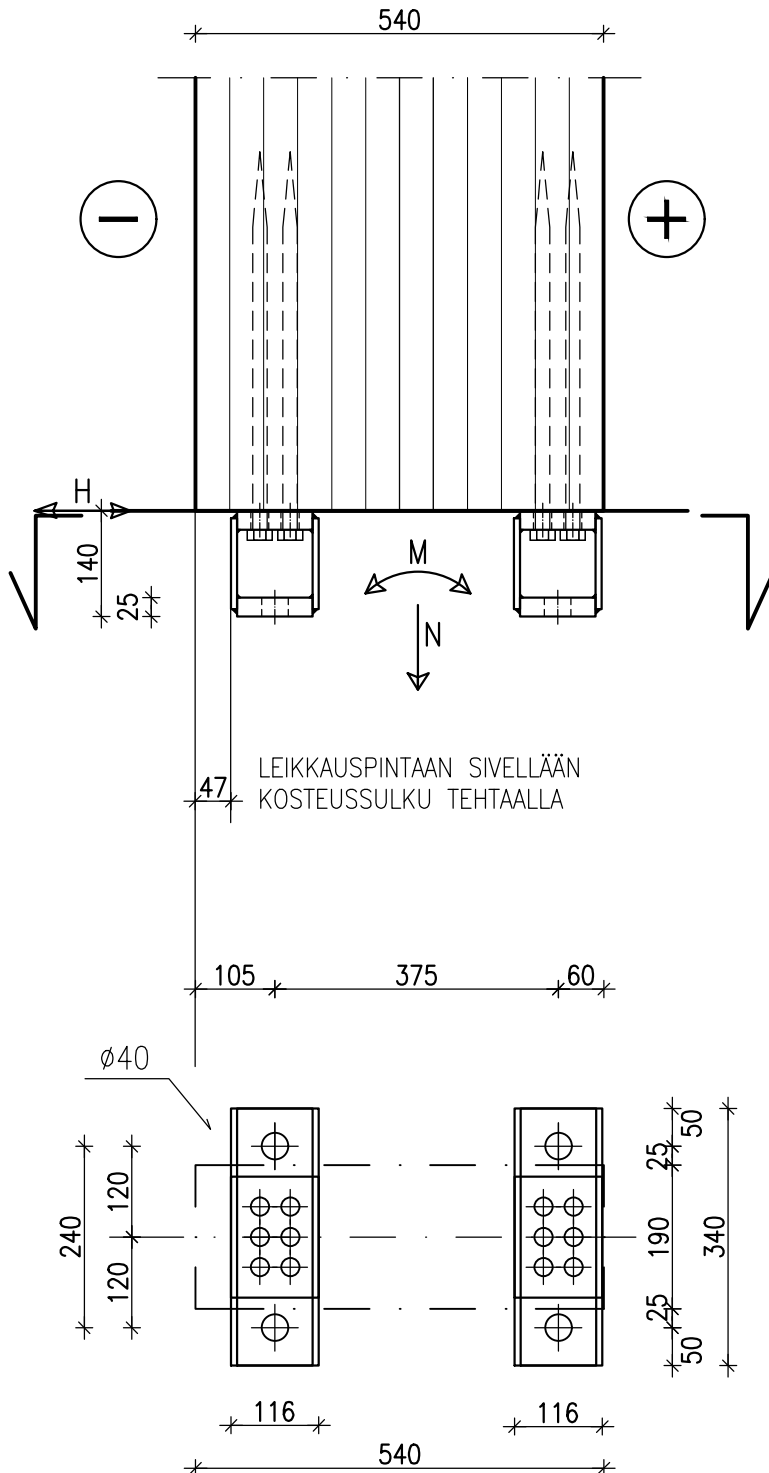
XXXXX

PIIR. N:O

3

REV.

REV. PVM.

**PERUSPULTIT M30**

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

M _{gk} = 19 kNm	} Md = 112 kNm
M _{qk} = 43 kNm	
M _{wk} = 29 kNm	
Ng _k = 23 kN	---> Ng _{k,min} = 18 kN
N _{qk} = 60 kN	
H _{gk} = 3 kN	
H _{qk} = 6 kN	
H _{wk} = 13 kN	

Kiinnitetään tehtaalla:

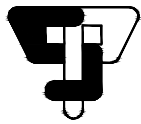
-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET9

MÄÄRÄ

3 KPL

TYÖ N:O

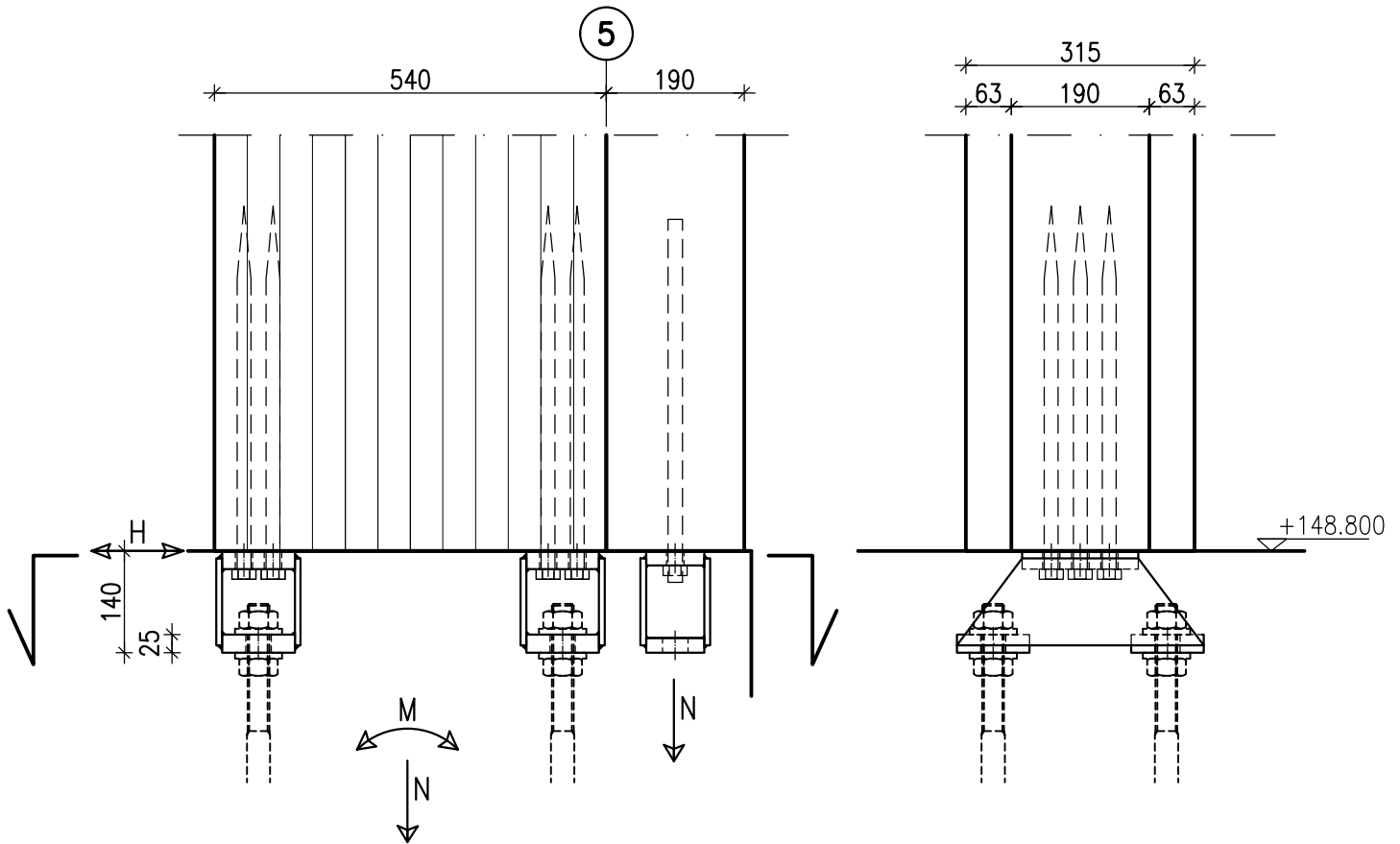
XXXXX

PIIR. N:O

3

REV.

REV. PVM.



LEIKKAUSPINTAAN SIVELLÄÄN
KOSTEUSSULKU TEHTAALLA

PERUSPULTIT M30

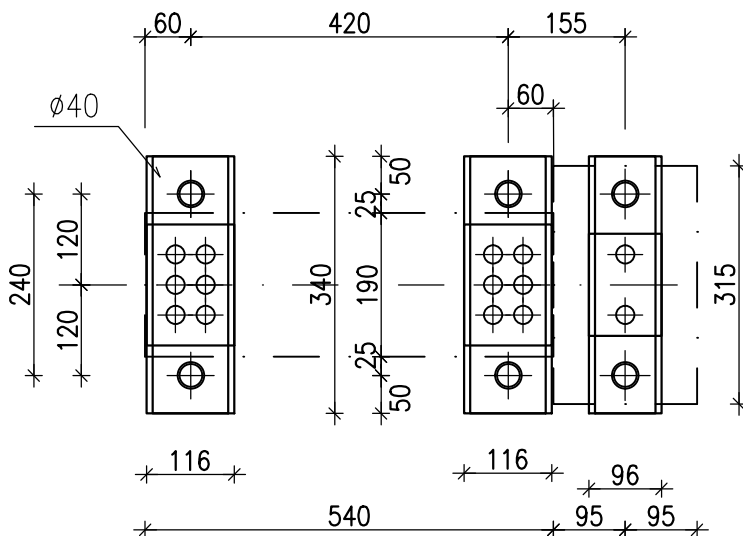
ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)
(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$M_{gk} = 19 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 43 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 29 \text{ kNm}$
 $N_{gk} = 23 \text{ kN} \rightarrow N_{gk, \min} = 18 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 60 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 3 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 6 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 13 \text{ kN}$

LISÄKSI APUPILARILTA TULEVAT KUORMAT:

$N_{gk} = 36 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 146 \text{ kN}$



Kiinnitetään tehtaalla:

–TERÄSKENKÄ PH23C–1, 2 kpl

–TERÄSKENKÄ PH13C–1, 1 kpl

–KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET10

MÄÄRÄ

3 KPL

TYÖ N:O

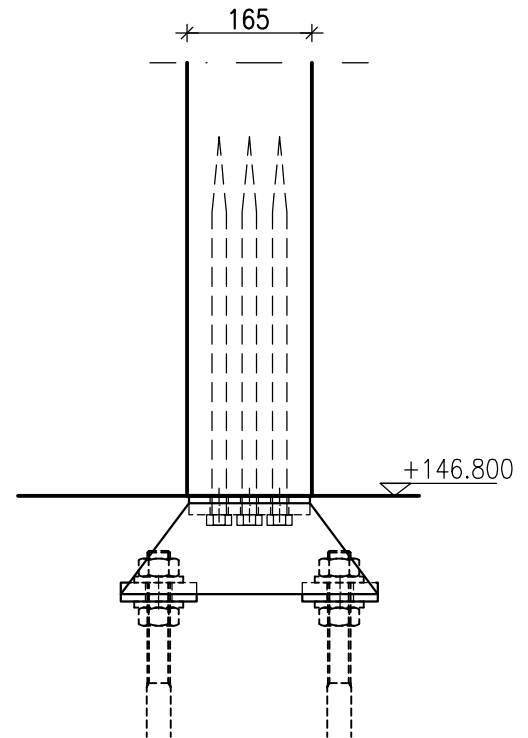
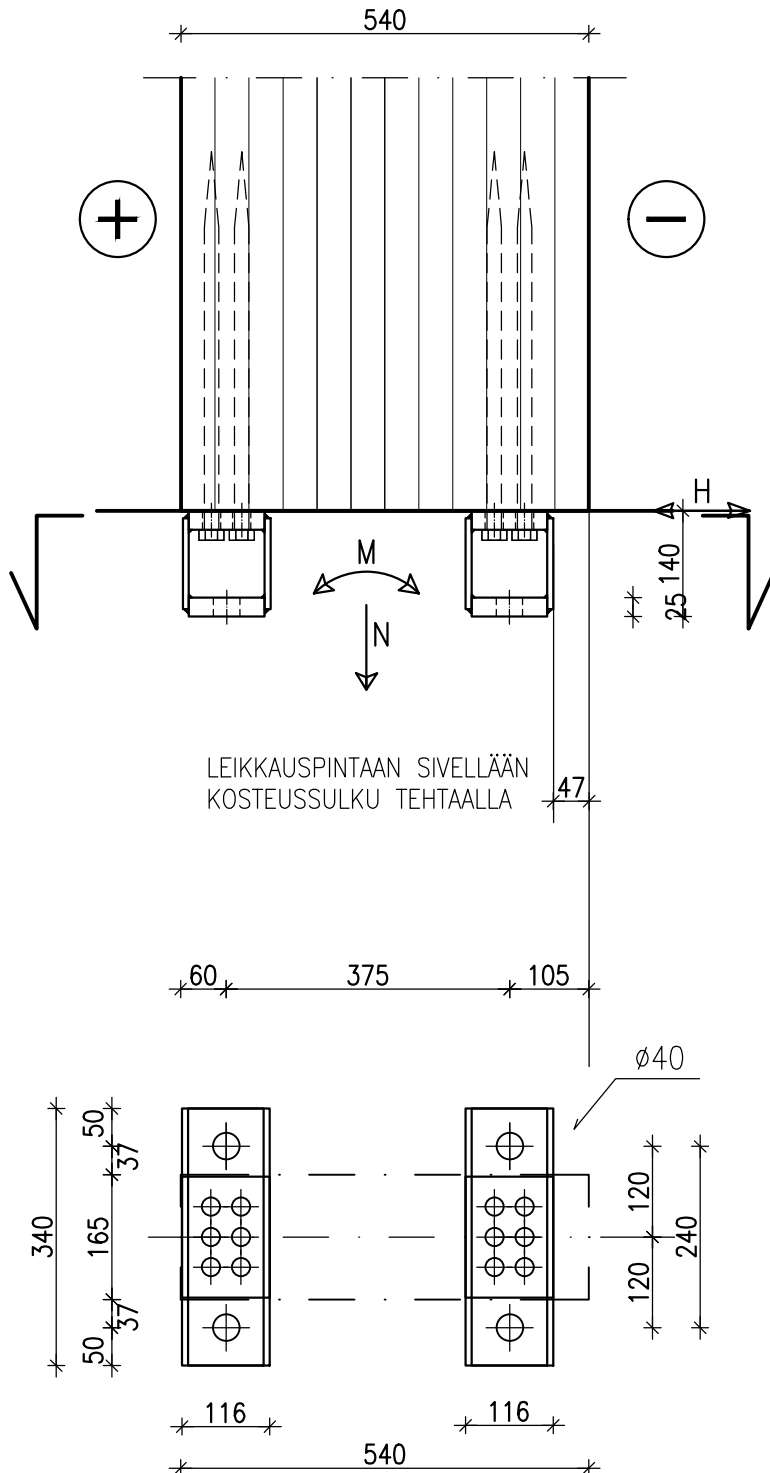
XXXXX

PIIR. N:O

3

REV.

REV. PVM.

**PERUSPULTIT M30**

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

Mgk = 21 kNm	} Md = 124 kNm
Mqk = 47 kNm	
Mwk = 32 kNm	
Ngk = 19 kN	---> Ngk,min = 15 kN
Nqk = 50 kN	
Hgk = 3 kN	
Hqk = 7 kN	
Hwk = 8 kN	

Kiinnitetään tehtaalla:

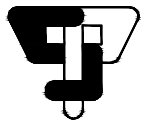
-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI Ø19x500, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET11

TYÖ N:O

XXXXX

PIIR. N:O

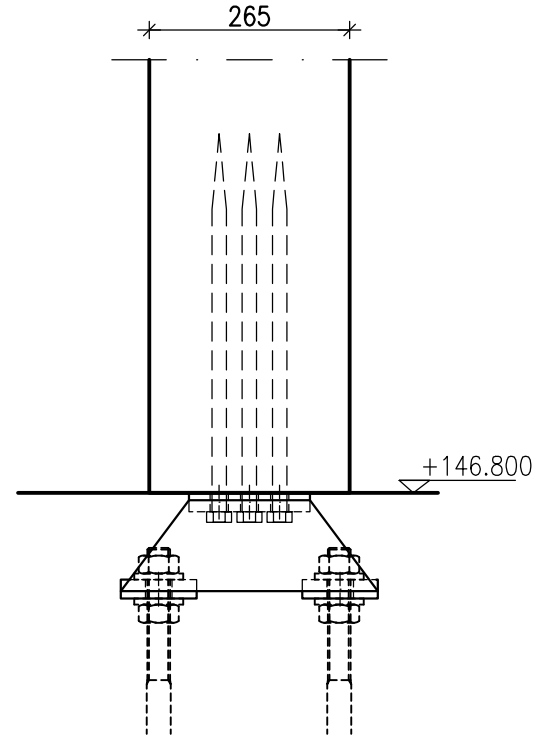
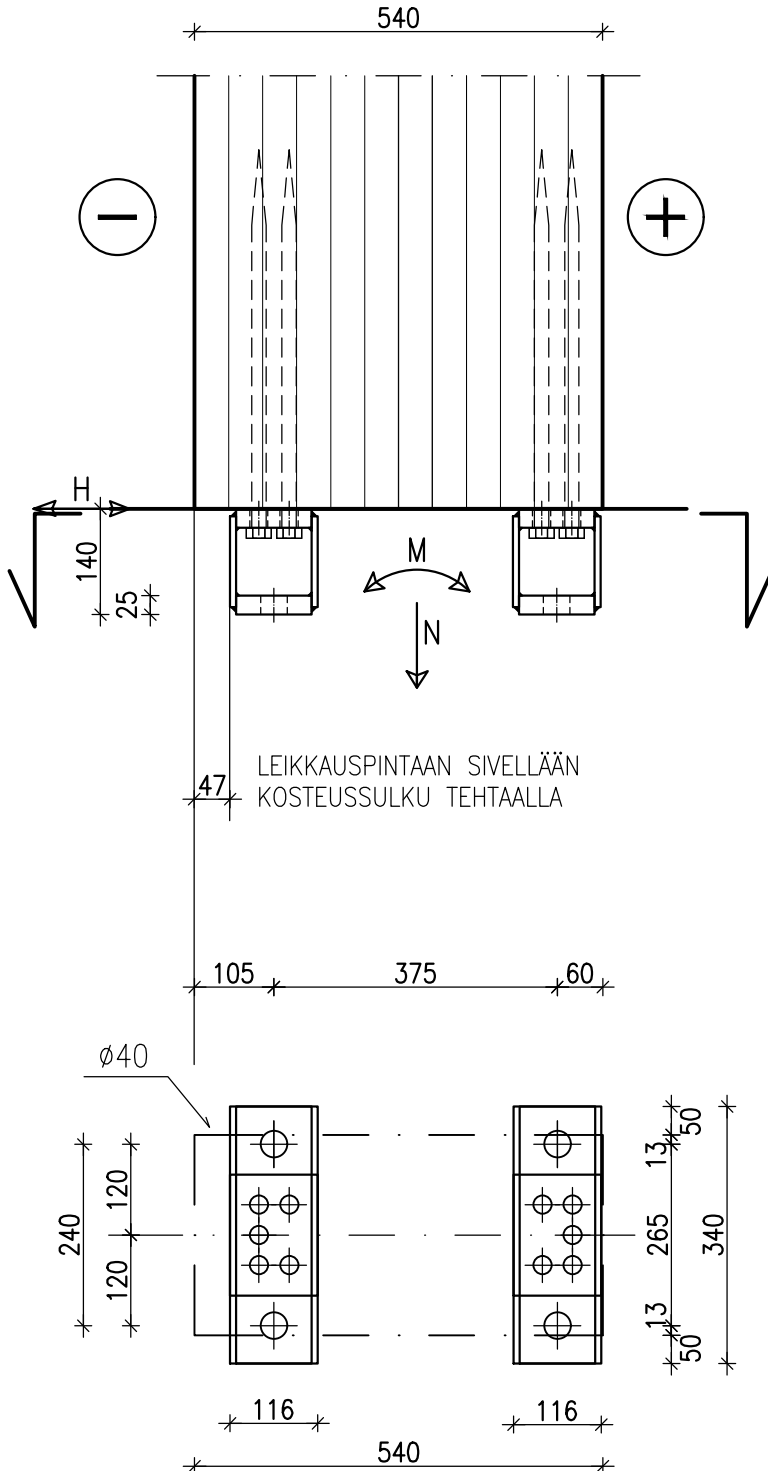
3

REV.

REV. PVM.

MÄÄRÄ

2 KPL

**PERUSPULTIT M30**

ESIM. HPM30/L (PEIKKO OY)

(SIS. LATEN TOIMITUKSEEN)

RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

$M_{gk} = 4 \text{ kNm}$
 $M_{qk} = 8 \text{ kNm}$
 $M_{wk} = 55 \text{ kNm}$
 $N_{gk} = 122 \text{ kN}$
 $N_{qk} = 276 \text{ kN}$
 $H_{gk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{qk} = 1 \text{ kN}$
 $H_{wk} = 19 \text{ kN}$

$M_d = 97 \text{ kNm}$
 $N_{gk, \min} = 87 \text{ kN}$

Kiinnitetään tehtaalla:

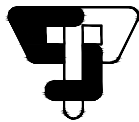
-TERÄSKENKÄ PH23C-1, 2 kpl

-KANSIRUUVI $\varnothing 19 \times 500$, 5.8

-- > kts. määrä kuvasta



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LIIMAPUUPILAREIDEN ALADETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET12

MÄÄRÄ

1

KPL

TYÖ N:O

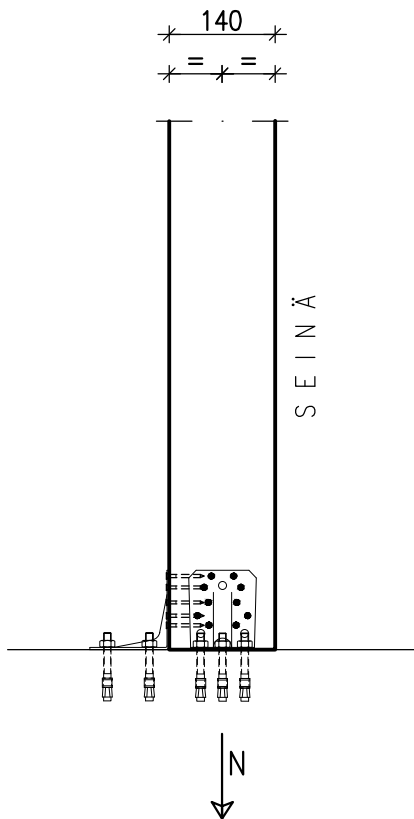
XXXXX

PIIR. N:O

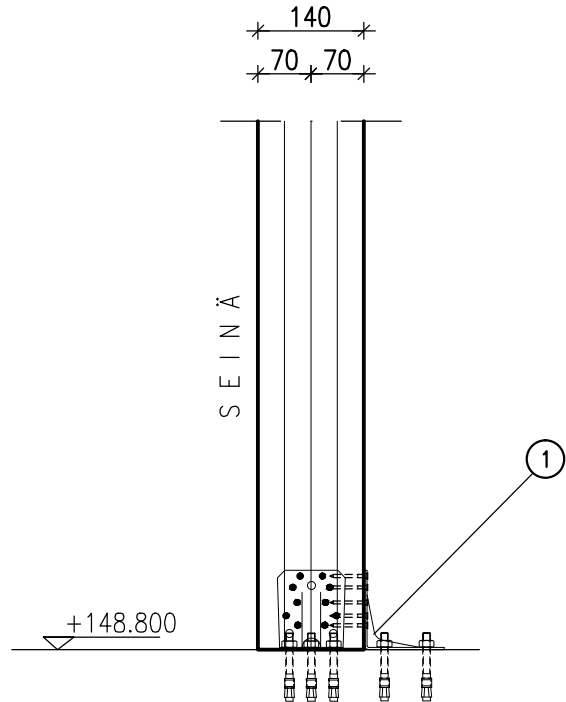
3

REV.

REV. PVM.



LEIKKAUSPINTAAN SIVELLÄÄN
KOSTEUSSULKU TEHTAALLA



RASITUSARVOT PERUSTUKSILLE:

Nk = 0 kN

Hk = 0 kN

1. KULMALEVY ABR105, 105x105x90, 2 kpl

– kiinnitys puuhun, ANKKURINAULA CNA 4x50, 10 kpl / hela

– kiinnitys betoniin, KIILA-ANKKURI M10, L=90, 3 kpl / hela

Liite 4. LP-rungon yläliitosdetaljit



LATE - RAKENTEET OY
PL1 20101 TURKU
Käyntiosoite: Pansiontie 67
Tel +358 20 755 1344
Fax +358 (0)2 240 2946
E-mail sales@late.net



SumuPlan Oy
Tuhtopolku 4 os. 4
20810 TURKU
040 5012479

K.OSA KORTTELI/TILA TONTTI/RNo
KIRKONSEUTU 302 39:7 JA 39:14

RAKENNUSTOIMENPIDE
UUDISRAKENNUS

RAKENNUSKOHTeen NIMI JA OSOITE


YLÖJÄRVEN PUU
SOPPEENTIE 64
33470 YLÖJÄRVI

RAKENNUSLUVAN TUNNUS

PIIRUSTUSLAJI JUOKS.No
RAKENNE

PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ MITTAKAAVAT
LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT 1:10
DET21 ... DET39

VASTAAVAN SUUNNITTELIJAN NIMI JA ALLEKIRJOITUS


SUMU PUHAKAINEN, Ins. AMK / Rak. suunn.

SUUN.ALA TYÖ No PIIR.No REVISIO

RAK XXXXX 4

PÄIVÄYS	SUUN.	PIIRT.	HYV.
12.5.18	KVo	KVo	SPu



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET21

MÄÄRÄ

4 KPL

TYÖ N:O

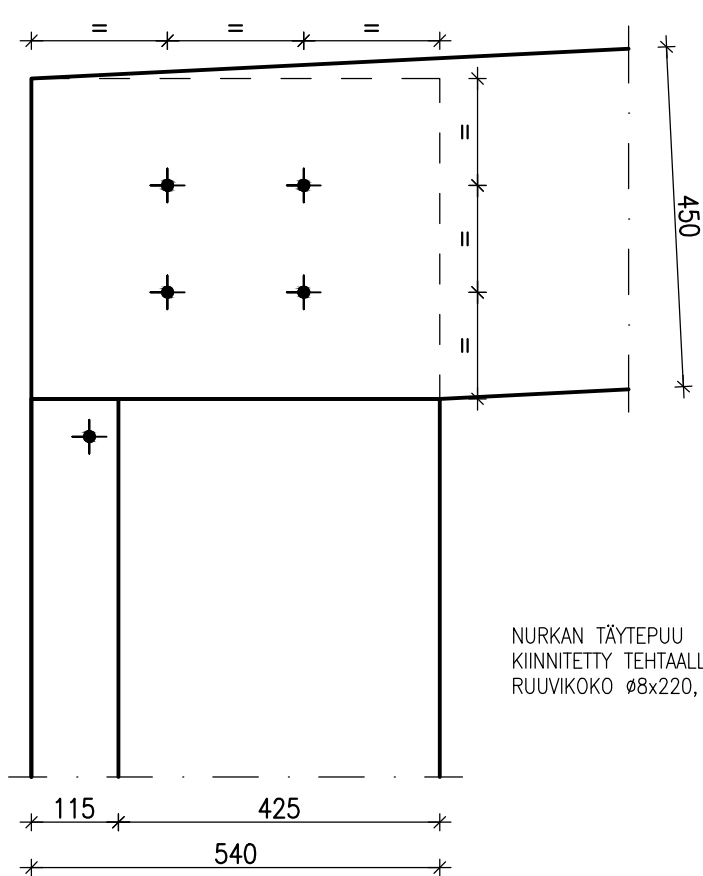
XXXXXX

PIIR. N:O

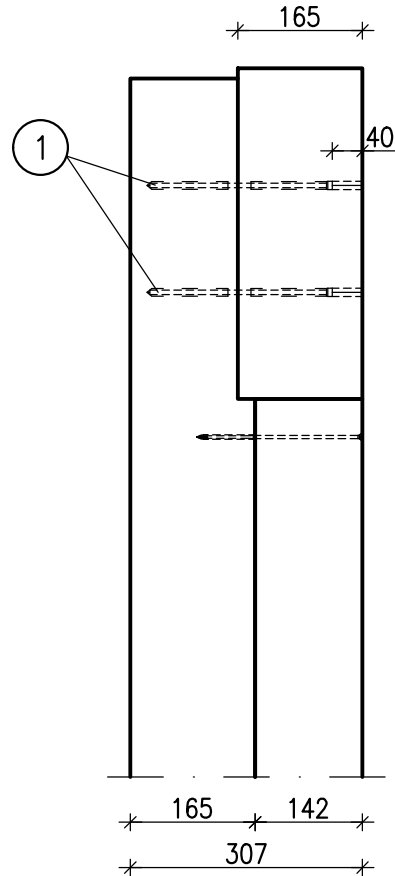
4

REV.

REV. PVM.



NURKAN TÄYTEPUU
KIINNITETTY TEHTAALLA,
RUUVIKOKO Ø8x220, k600



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 4 kpl (KANTA T40)
- upotus 40 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET22

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

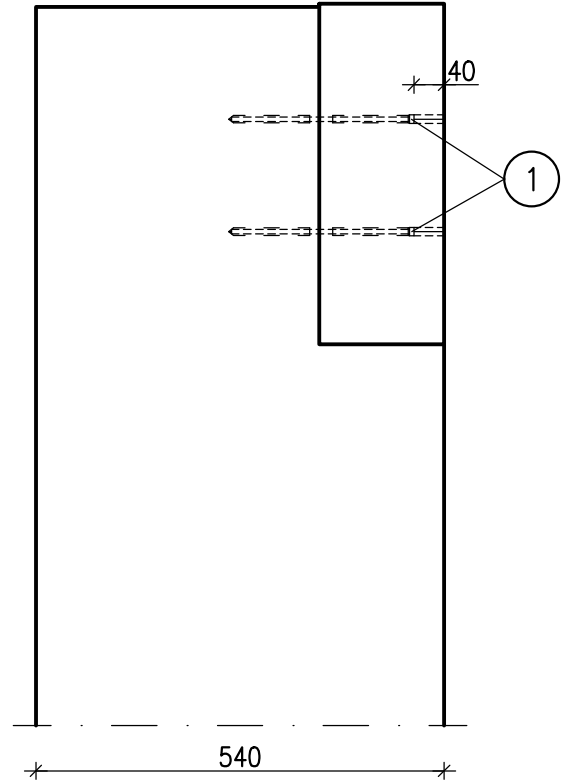
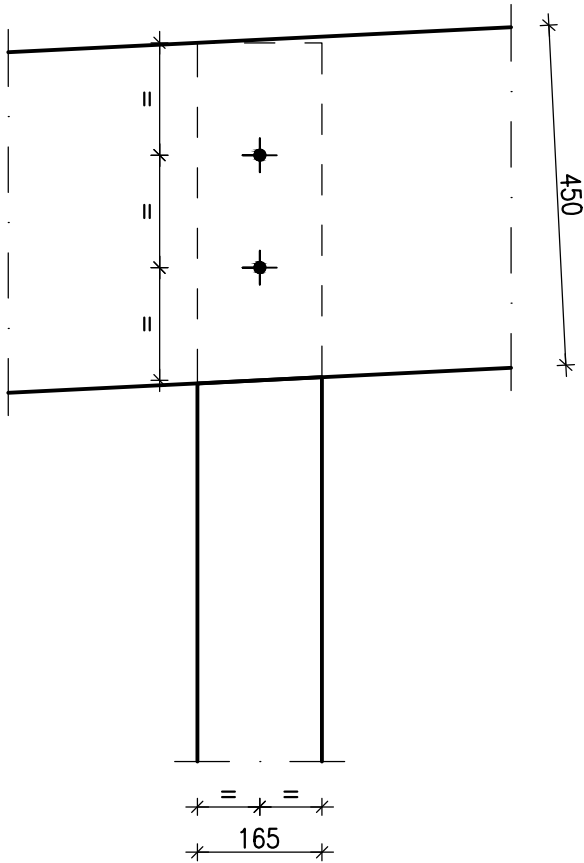
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2 kpl (KANTA T40)
- upotus 40 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET23

MÄÄRÄ

1 KPL

TYÖ N:O

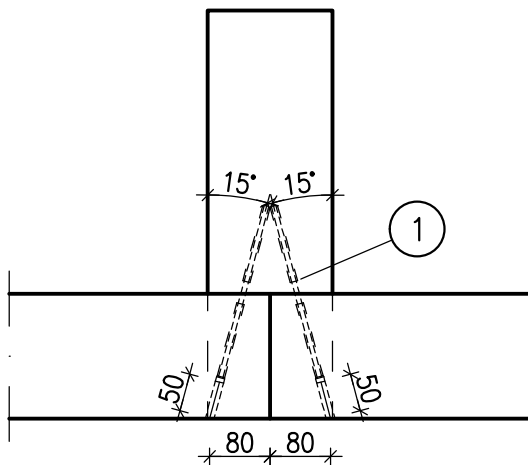
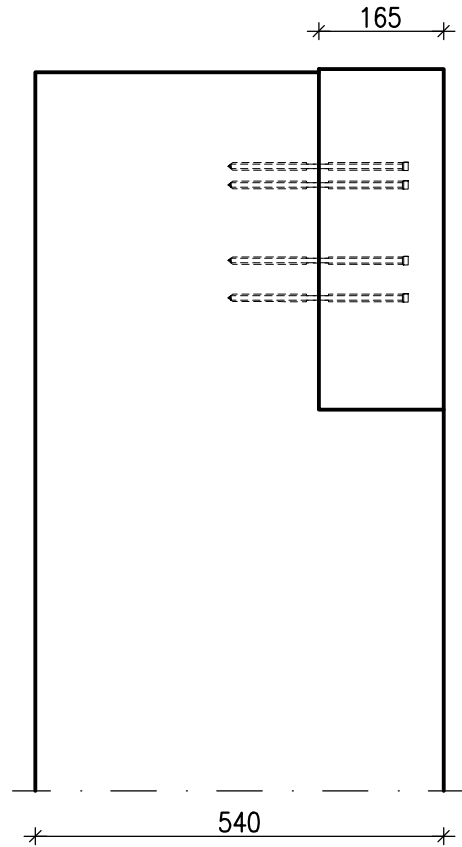
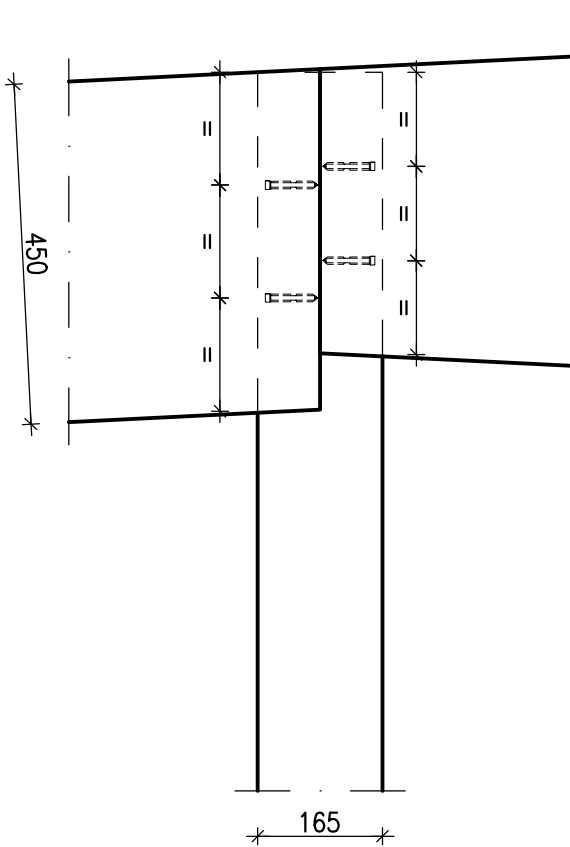
XXXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

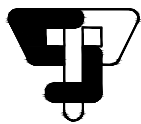
REV. PVM.



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2+2 kpl (KANTA T40)
 - ruuvaus 15° kulmassa
 - upotus 50 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET24

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

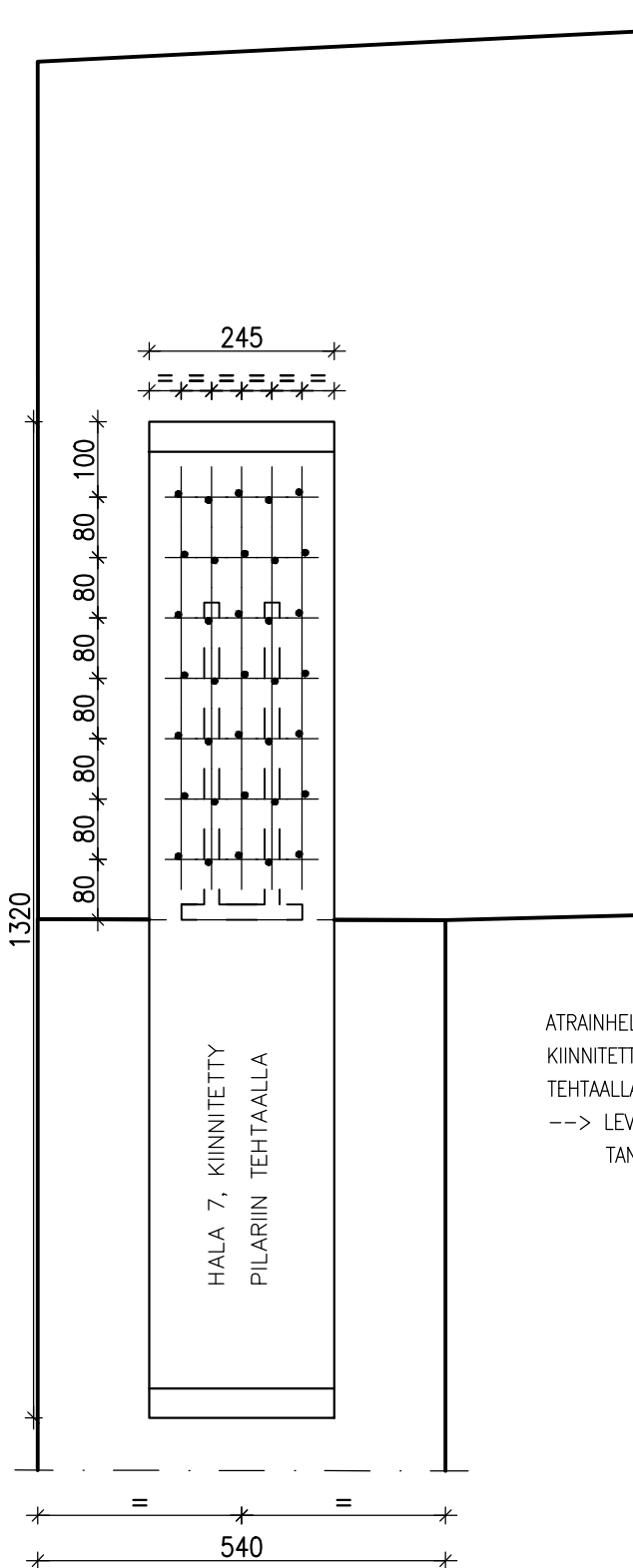
XXXXXX

PIIR. N:O

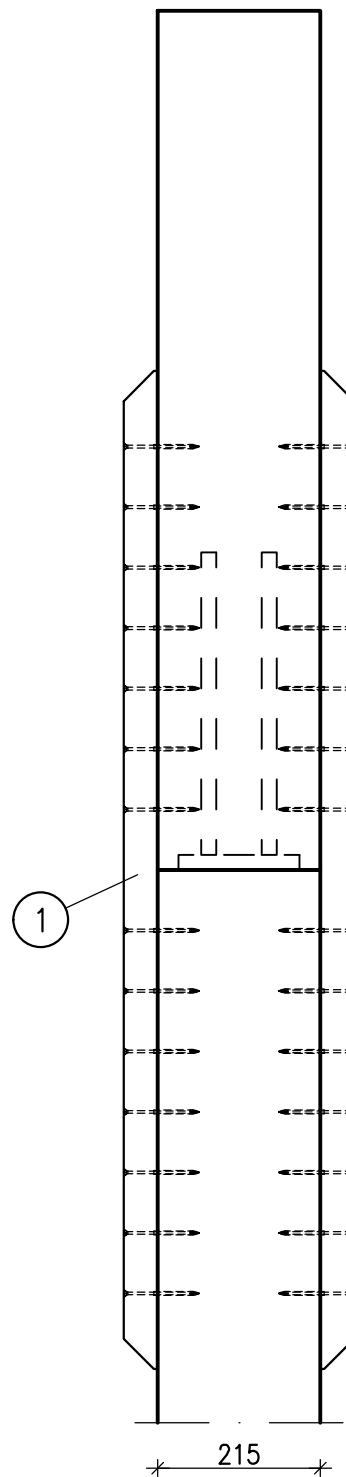
4

REV.

REV. PVM.



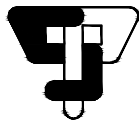
ATRAINHELA AH40-4-20
KIINNITETTY PALKKIIN
TEHTAALLA
--> LEVY 160x160x20
TANGOT 4x20x400



1. HANKOLAUTA HALA7, 45x245x1320, 2 kpl
- kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 35 kpl / HALA7



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET25

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

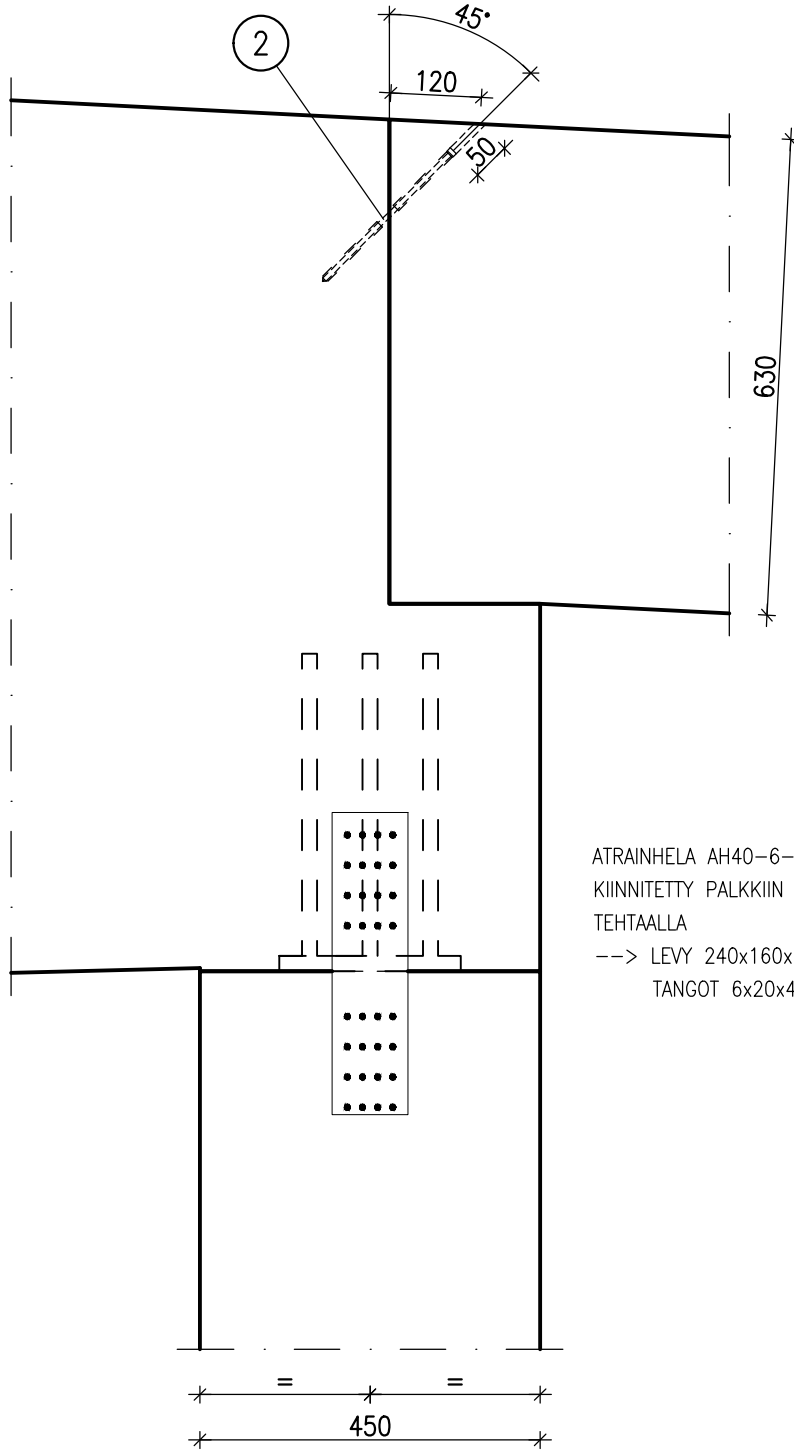
XXXXX

PIIR. N:O

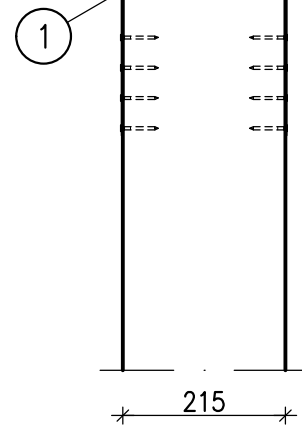
4

REV.

REV. PVM.



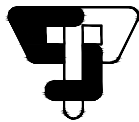
ATRINHELA AH40-6-20
KIINNITETTY PALKKIIN
TEHTAALLA
--> LEVY 240x160x20
TANGOT 6x20x400



1. NAULAUUSLEVY NP, 100x400, 1 kpl
- kiinnitys: AN, CNA 4x50, 16+16 kpl
2. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 3 kpl (KANTA T40)
- ruuvaus 45° kulmassa
- upotus 40 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET26

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

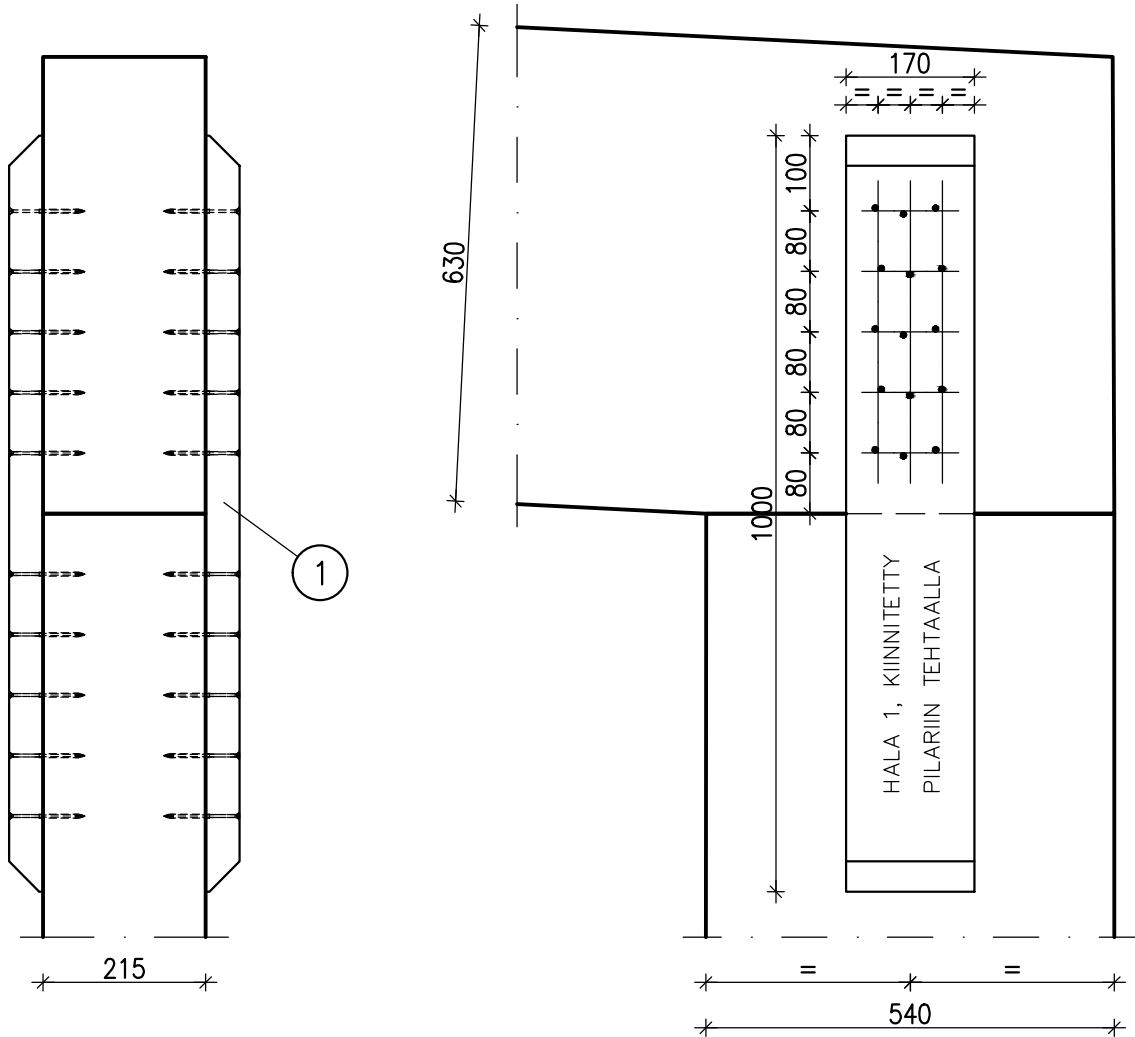
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



1. HANKOLAUTA HALA1, 45x170x1000, 2 kpl
– kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 15 kpl / HALA1



YLÖJÄRVEN PUU

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

12.5.18

KV0

KV0

1:10

A4

DET27

2 KPL

XXXXXX

4

REV.

REV. PVM.



1. HANKOLAUTA HALA7, 45x245x1320, 2 kpl
– kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 35 kpl / HALA7



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET28

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

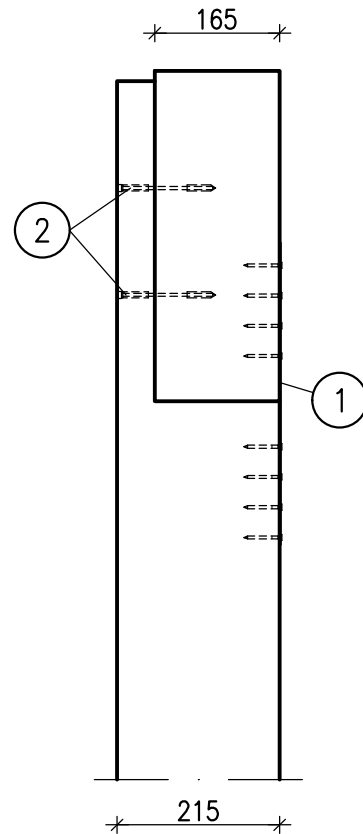
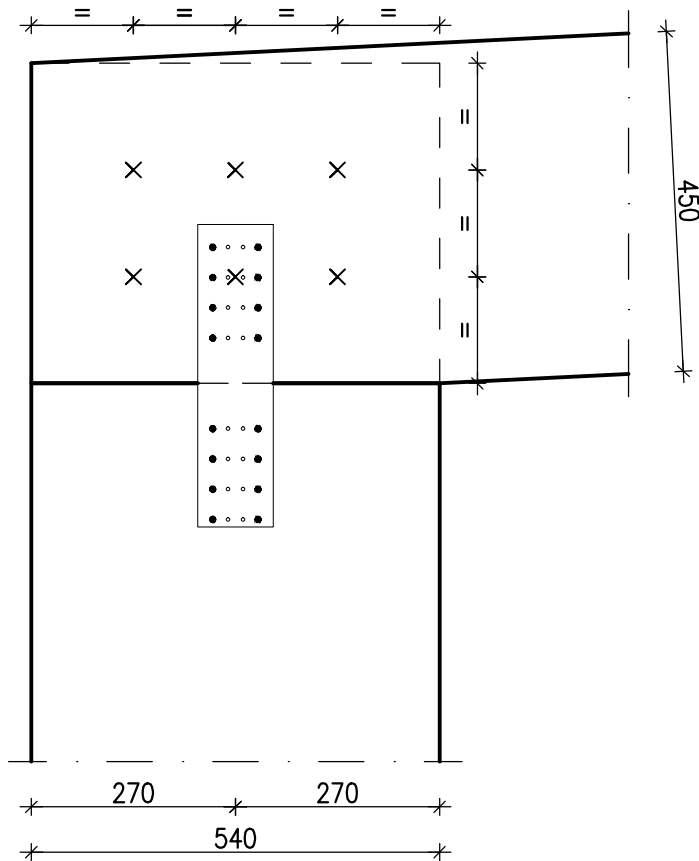
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

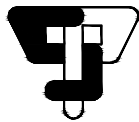
REV. PVM.



1. NAULAUSLEVY NP, 100x400, 1 kpl
– kiinnitys: AN, CNA 4x50, 8+8 kpl
2. PORARUUVI WT-T-6,5x130, 6 kpl (KANTA T40)



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET29

MÄÄRÄ

3 KPL

TYÖ N:O

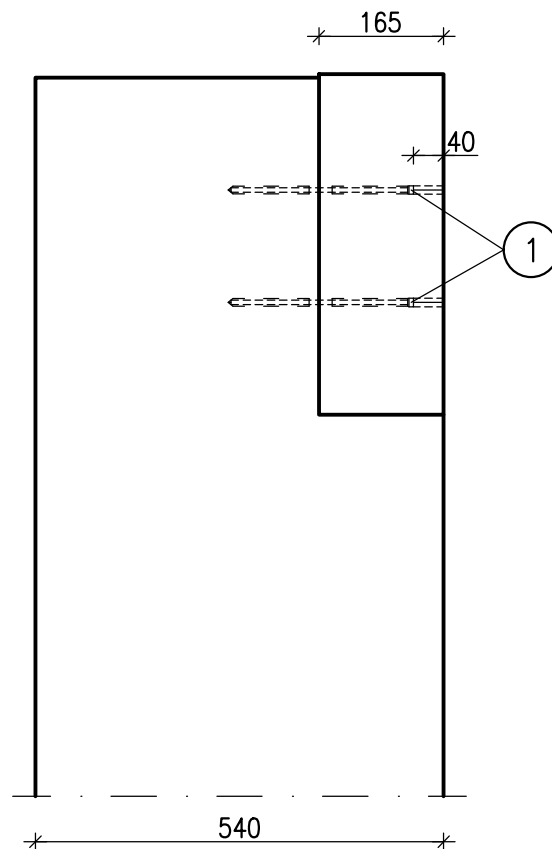
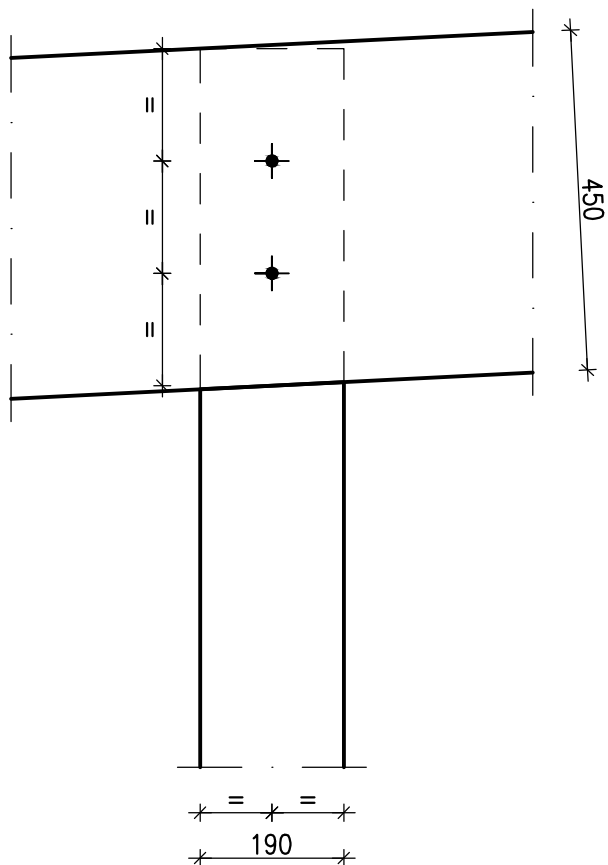
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

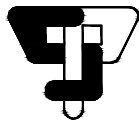
REV. PVM.



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2 kpl (KANTA T40)
- upotus 40 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET30

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

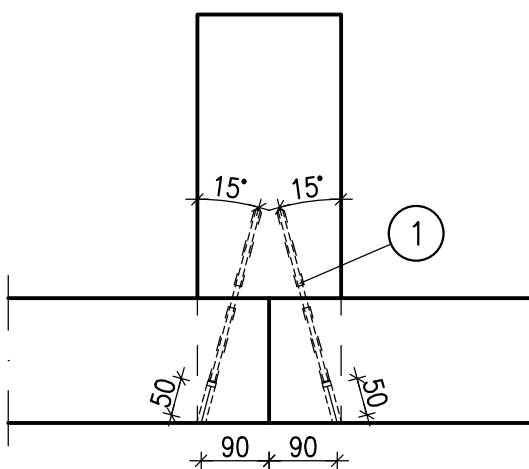
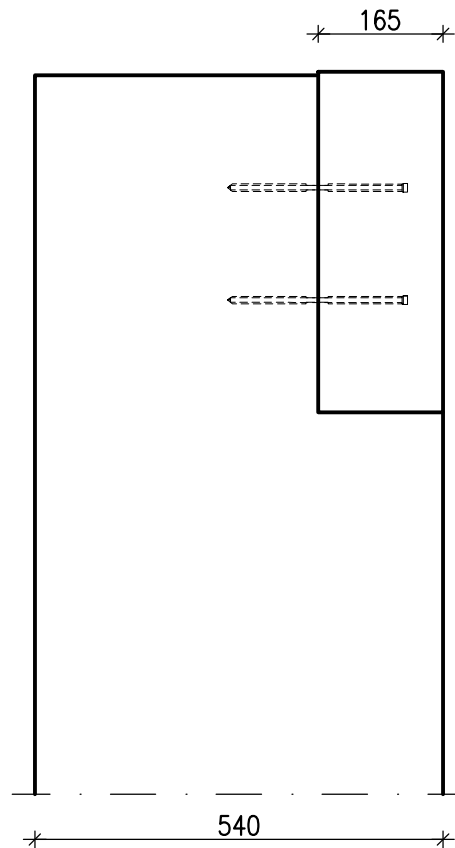
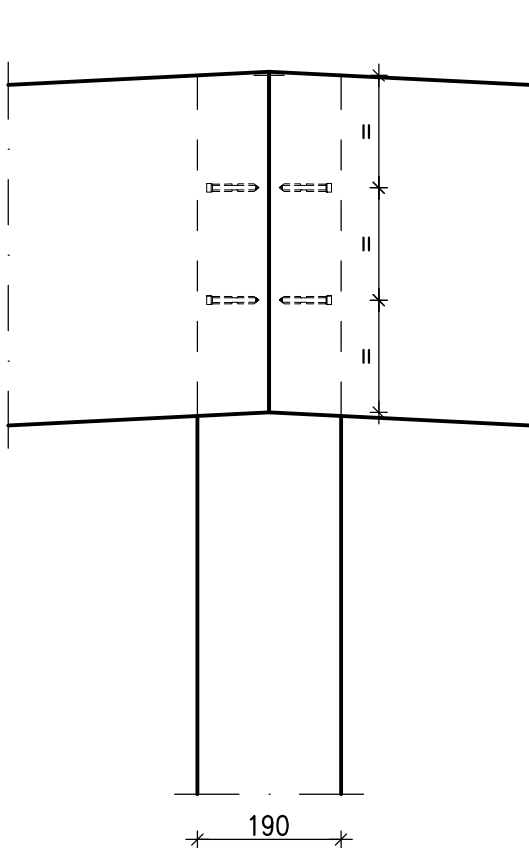
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

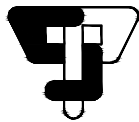
REV. PVM.



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2+2 kpl (KANTA T40)
 - ruuvaus 15° kulmassa
 - upotus 50 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET31

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

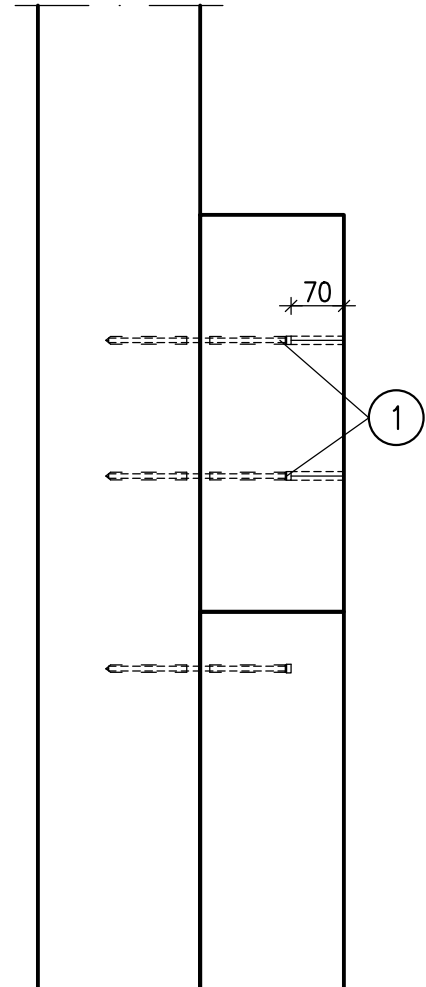
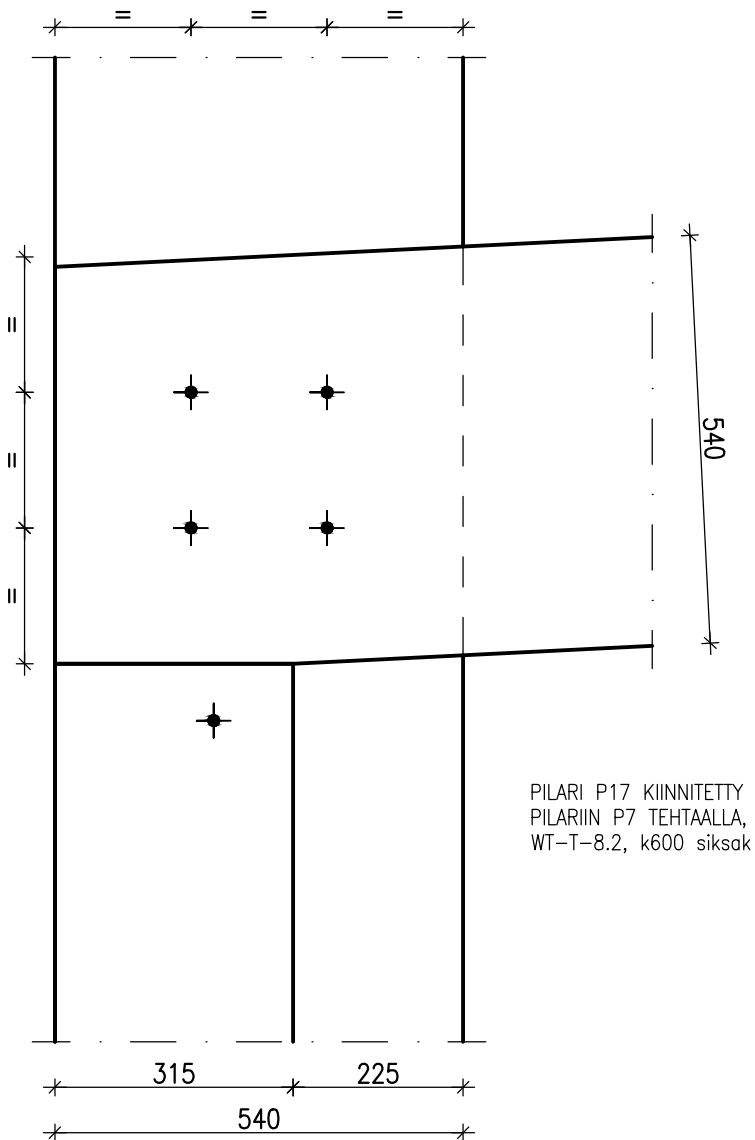
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 4 kpl (KANTA T40)
– upotus 70 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET32

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:O

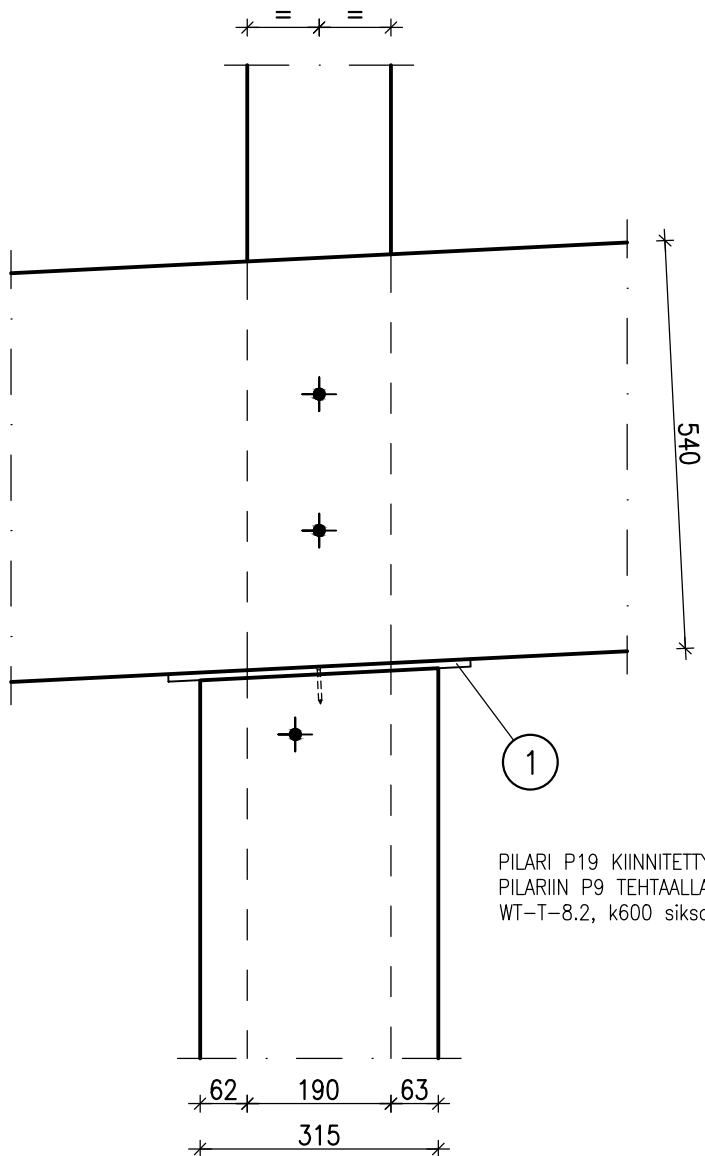
XXXXX

PIIR. N:O

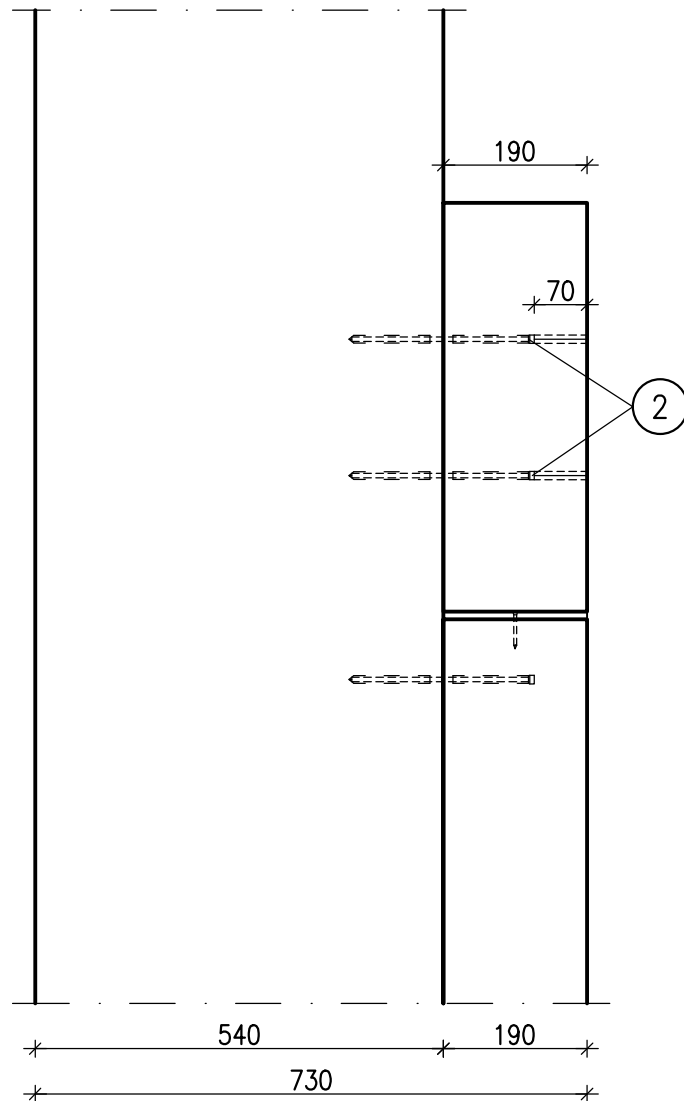
4

REV.

REV. PVM.



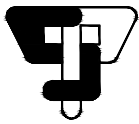
PILARI P19 KIINNITETTY
PILARIIN P9 TEHTAALLA,
WT-T-8.2, k600 siksak



1. TUKIPINNANLEVITYSHELA TH1, 10x190x400, 1 kpl
– kiinnitys: AN, CNA 4x50, 1 kpl
2. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2 kpl (KANTA T40)
– upotus 70 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET33

MÄÄRÄ

1 KPL

TYÖ N:O

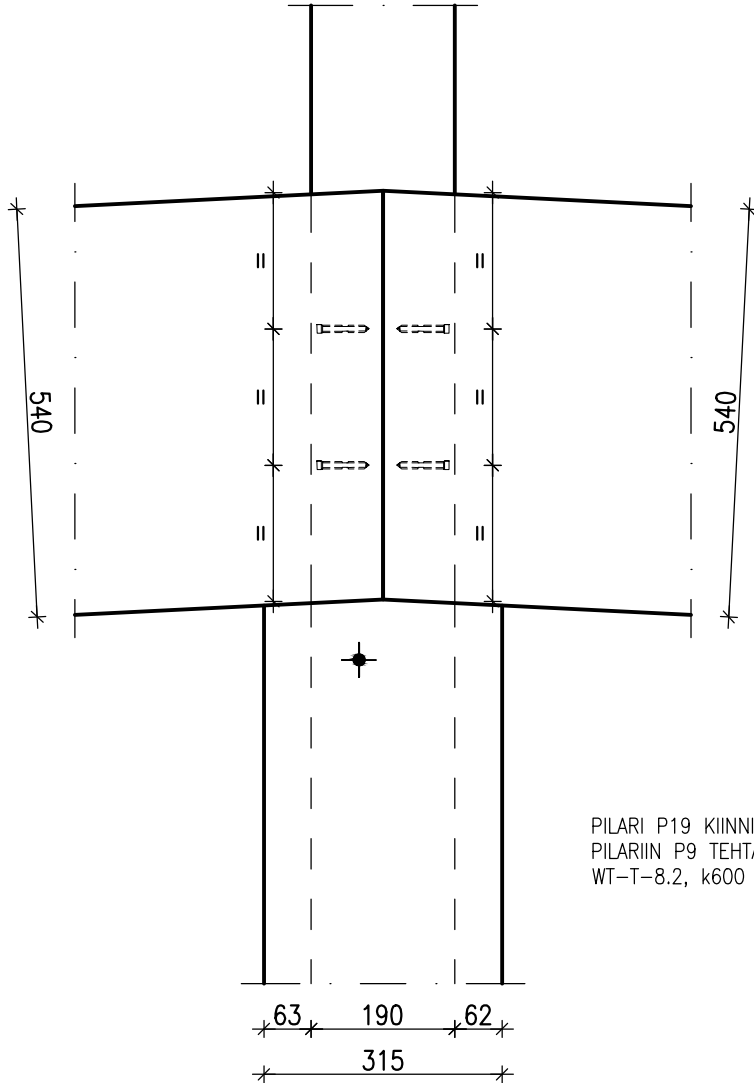
XXXXX

PIIR. N:O

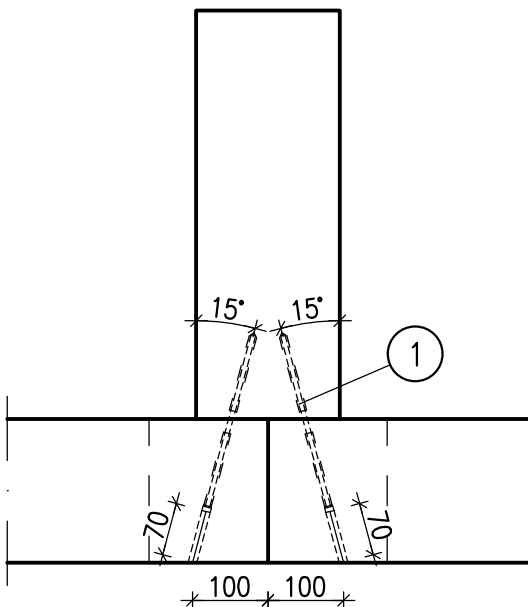
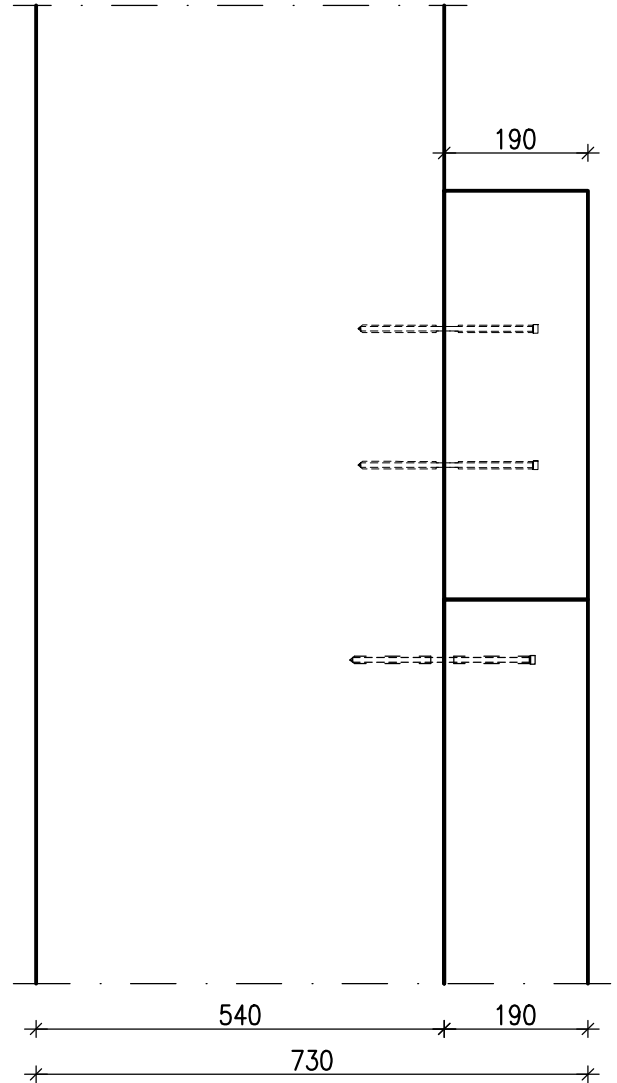
4

REV.

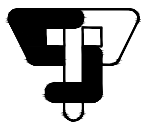
REV. PVM.



PILARI P19 KIINNITETTY
PILARIIN P9 TEHTAALLA,
WT-T-8.2, k600 siksak



1. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2+2 kpl (KANTA T40)
- ruuvaus 15° kulmassa
 - upotus 70 mm



KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV0

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPER I

A4

TUNNUS

DET34

MÄÄRÄ

2 KPL

TYÖ N:0

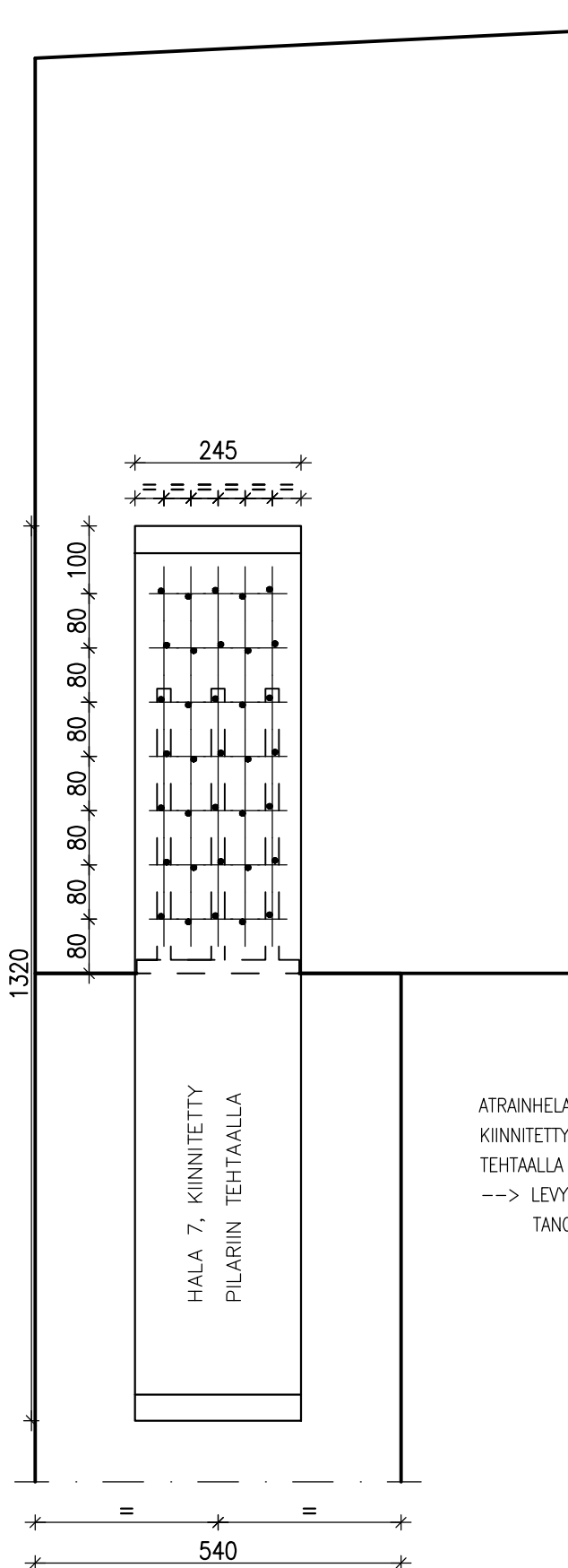
XXXXXX

PIIR, N:0

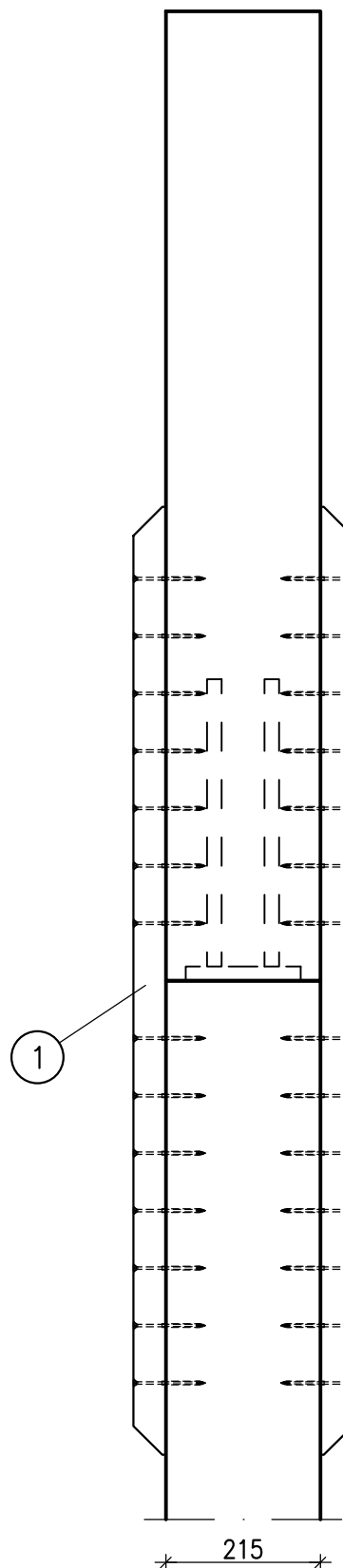
REV.

REV. PVM.

4



ATRAINHELA AH40-6-20
 KIINNITETTY PALKKIIN
 TEHTAALLA
 --> LEVY 240x160x20
 TANGOT 6x20x400



1. HANKOLAUTA HALA7, 45x245x1320, 2 kpl
– kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 35 kpl / HALA7



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET35

MÄÄRÄ

4 KPL

TYÖ N:O

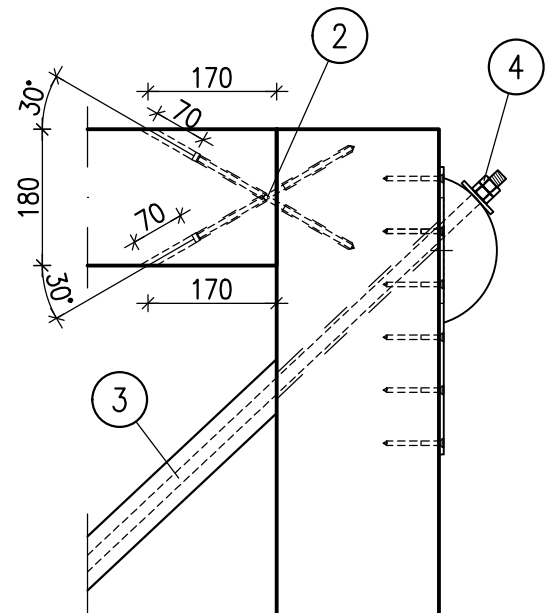
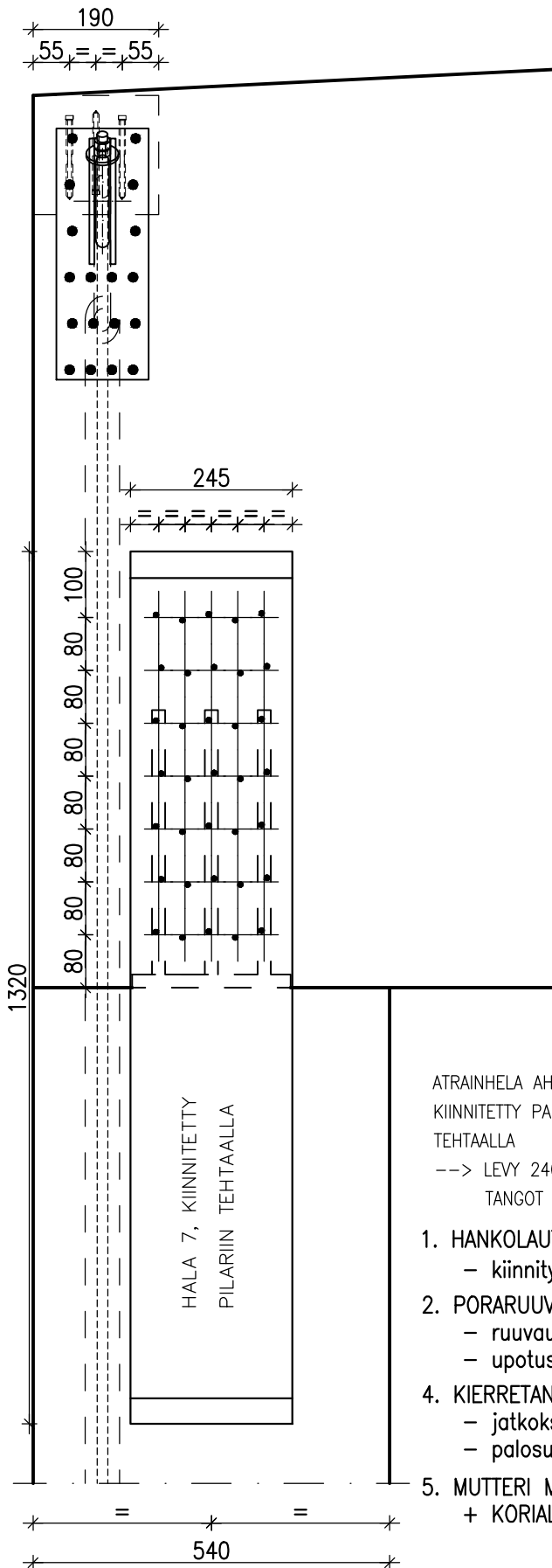
XXXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



KIERRETANGON
REIKÄ TEHTY
PALKKIIN TEHTAALLA

TUULIRISTIKKOHELA
KIINNITETTY PALKKIIN
TEHTAALLA

ATRAINHELA AH40-6-20
KIINNITETTY PALKKIIN
TEHTAALLA
--> LEVY 240x160x20
TANGOT 6x20x400

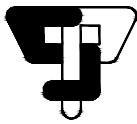
1. HANKOLAUTA HALA7, 45x245x1320, 2 kpl
- kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 35 kpl/HALA7
2. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 1+2 kpl (KANTA T40)
- ruuvaus 30° kulmassa
- upotus 70 mm
4. KIERRETANKO M20, 1 kpl
- jatkokset DET38 mukaan
- palosuojaus DET39 mukaan
5. MUTTERI M16, 2 kpl
+ KORIALUSLEVY M24, ø56x5, 1 kpl

1

215



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET36

MÄÄRÄ

4 KPL

TYÖ N:O

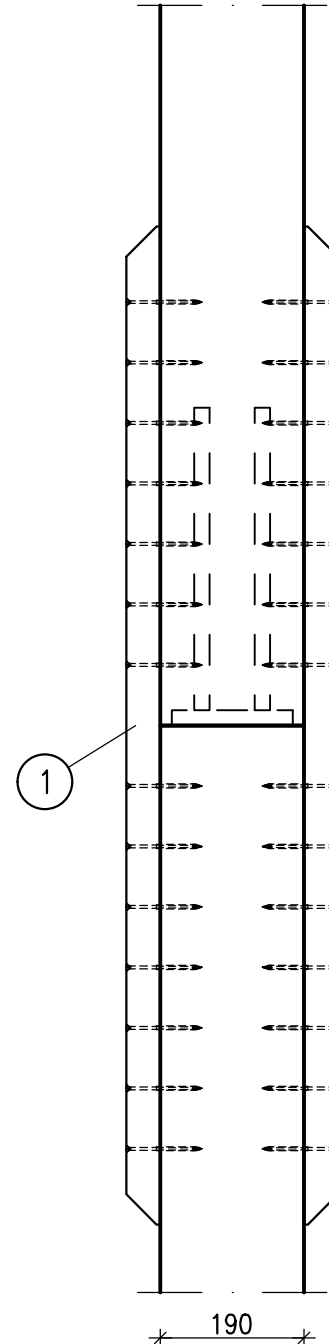
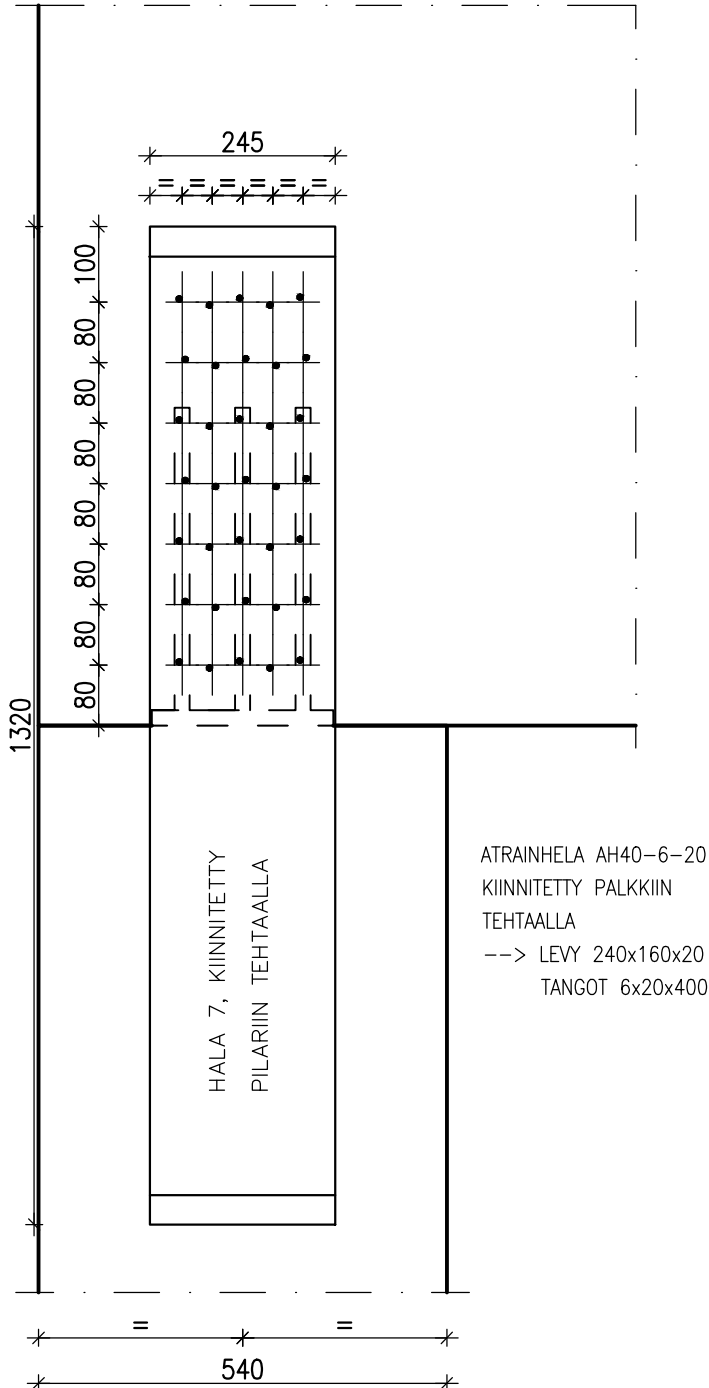
XXXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

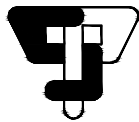
REV. PVM.



1. HANKOLAUTA HALA7, 45x245x1320, 2 kpl
– kiinnitys: PORARUUVI PR 6x120, 35 kpl/HALA7



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KVo

PIIRT.

KVo

MITTAKAAVA

1:10

PAPERI

A4

TUNNUS

DET37

MÄÄRÄ

1 KPL

TYÖ N:O

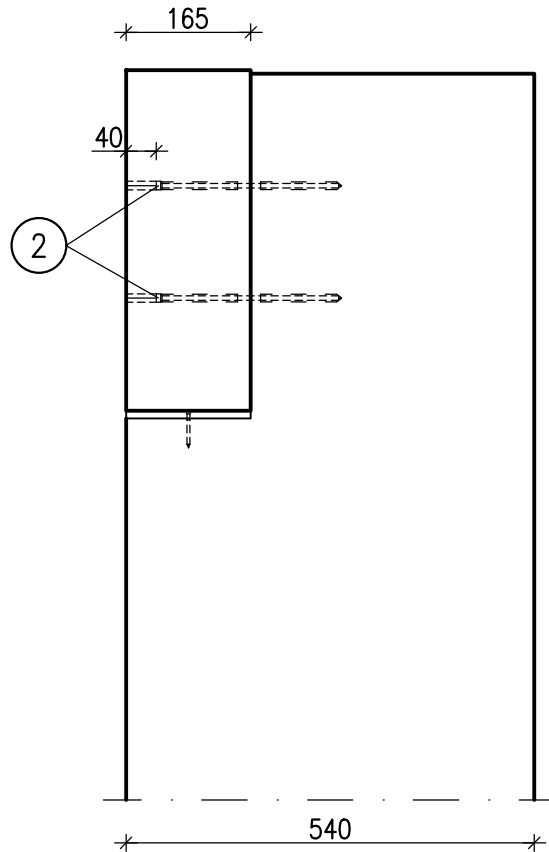
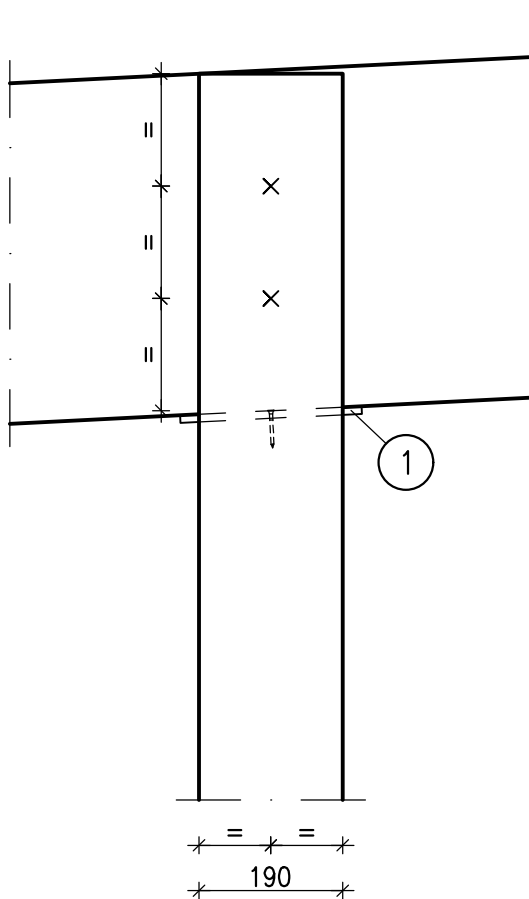
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

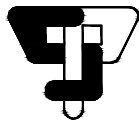
REV. PVM.



1. TUKIPINNANLEVITYSHELÄ TH2, 10x165x240, 1 kpl
– kiinnitys: AN, CNA 4x50, 1 kpl
2. PORARUUVI WT-T-8,2x245, 2 kpl (KANTA T40)
– upotus 40 mm



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

—

PAPERI

A4

TUNNUS

DET38

MÄÄRÄ

20 KPL

TYÖ N:O

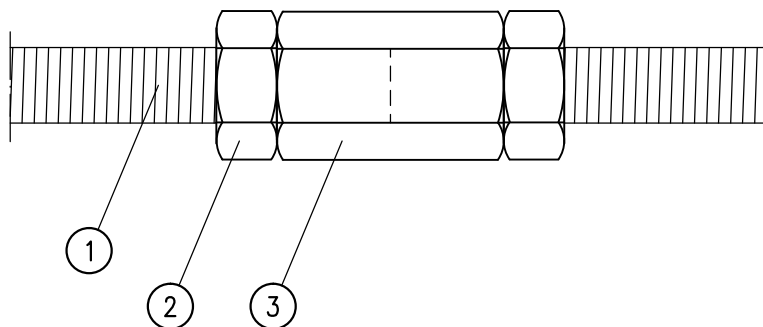
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



1. KIERRETANKO

- tankojen toimituspituus 2,000m
- katkaisu ja jatkaminen työmaalla
- tankojen katkaisupintoihin KYLMÄSINKKI-SPRAY

2. MUTTERI, 2 kpl / liitos

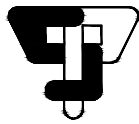
- liitoksen lukitukseen

3. JATKOMUTTERI, 1 kpl / liitos

- tankojen päiden väliin ei saa jäädä välystä!



LATE - RAKENTEET OY



SumuPlan Oy

KOHDE

YLÖJÄRVEN PUU

KATEGORIA

LP-RUNGON YLÄLIITOSDETALJIT

PVM.

12.5.18

SUUN.

KV₀

PIIRT.

KV₀

MITTAKAAVA

—

PAPERI

A4

TUNNUS

DET39

MÄÄRÄ

32 KPL

TYÖ N:O

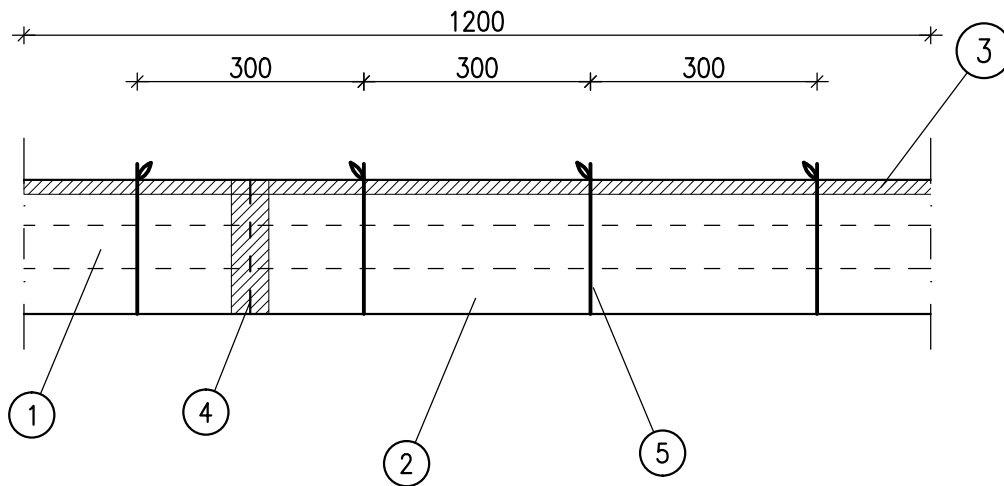
XXXXX

PIIR. N:O

4

REV.

REV. PVM.



1. KIERRETANKO
2. PALOSUOJAKOURU (PAROC ACE-AluCoat 140kg/m³)
 - kourukoko 12/15–20–52
 - kourun toimituspituus 1,200m
3. ALUMIINITEIPPI, b=50mm
 - pitkittäissauma
4. ALUMIINITEIPPI, b=50mm
 - jatkossauma, k1200
5. TERÄSLANKA (kzn), 0,9mm, k300
 - lankaa EI SAA kieputtaa jatkuvana!

Liite 5. Kuormien laskenta

Kuormat:**Yläpohjan omapaino:**

Yläpohjan vaipparakenne: $g_{k,yp} := 0.55 \frac{kN}{m^2}$

Ripustus: $g_{k,r} := 0.15 \frac{kN}{m^2}$

Yläpohjan omapaino ilman liimapuuta: $g_{k,1} := g_{k,yp} + g_{k,r} = 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Lumikuorma:

Lumikuorma maassa (Ylöjärvi): $S_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$

Katon tuulensuojaisuuskerroin: $C_e := 1.0$

Lämpötilakerroin: $C_t := 1.0$

Katon kaltevuus 1:20: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Lumikuorman muotokerroin: $\mu_1 := 0.8$ (harjakatto)

Lumikuorma katolla: $q_{k,1} := C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 \cdot S_k = 2 \frac{kN}{m^2}$

Kinostunut lumi:

Kattojen tasoero: $h := 3 \text{ m}$

Kinostumispituus: $l_s := 2 \cdot h = 6 \text{ m}$

Kinostumispituuden vaihteluväli: $2 \text{ m} < l_s < 6 \text{ m}$

Liukumisesta johtuva lumikuorman muotokerroin: $\mu_s := 0$ ($\alpha \leq 15^\circ$)

Tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin: $b_1 := 46.377 \text{ m}$

$b_2 := 33.917 \text{ m}$

Lumen tilavuuspaino: $\gamma := 2 \frac{kN}{m^3}$

$$\mu_w := \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot h} = 13.382 \quad \mu_w < \frac{\gamma \cdot h}{S_k} = 0$$

$$\mu_w := \frac{\gamma \cdot h}{S_k} = 2.4 \quad \mu_2 := \mu_s + \mu_w = 2.4$$

Kinostunut lumikuorma:

$$q_{k.2} := C_e \cdot C_t \cdot \mu_2 \cdot S_k = 6 \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

Kinoksen aiheuttama lisälumikuorma:

$$q_{k.kinos} := q_{k.2} - q_{k.1} = 4 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulikuorma:

Tuulen maastoluokka III

Rakennuksen korkeus:

$$h := 8 \text{ m}$$

Tuulen puuskanopeuspaine:

$$q_{p0} := 0.43 \frac{kN}{m^2}$$

Rakennekerroin:

$$C_s C_d := 1.0$$

Tuulikuorman laskenta voimakertoimilla pitkälle sivulle:

Tuulen puoleinen sivu:

$$C_f := 0.8$$

$$q_{w.k.a} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.344 \frac{kN}{m^2}$$

Suojan puoleinen sivu (imu):

$$C_f := 0.5$$

$$q_{w.k.b} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.215 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulikuorman laskenta voimakertoimilla lyhyemälle sivulle:

Tuulen puoleinen sivu:

$$C_f := 0.8$$

$$q_{w.k.a} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.344 \frac{kN}{m^2}$$

Suojan puoleinen sivu (imu):

$$C_f := 0.3$$

$$q_{w.k.b} := C_s C_d \cdot C_f \cdot q_{p0} = 0.129 \frac{kN}{m^2}$$

Liite 6. Harjapalkki: LP1

Harjapalkin mitoitus: LP1

Liimapuun lujuusluokka: GL30c	$\gamma_M := 1.25$
Käyttöluokka: 1	
Seuraamusluokka: CC2	$K_{FI} := 1.0$
Palonkesto aika: R30	
Kuorman aikaluokka: keskipitkä	$k_{mod} := 0.8$

Liimapuun materiaallujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$
Tiheys:	$\rho_{mean} := 430 \frac{kg}{m^3}$	$g_\rho := \rho_{mean} \cdot g = 4.217 \frac{kN}{m^3}$

Harjapalkin mitat:

$h_1 := 1400 \text{ mm}$	$h_2 := 2000 \text{ mm}$	$h_3 := 1400 \text{ mm}$	$b := 265 \text{ mm}$
Palkin pituus:	$L := 24 \text{ m}$	Harjan et. vasem:	$l_{ap} := 12 \text{ m}$
Tuen pituus:	$b_l := 540 \text{ mm}$		
Palkin jänneväli:	$L_0 := L - b_l = 23.46 \text{ m}$	$l_{ap.0} := \frac{L_0}{2} = 11.73 \text{ m}$	
Räystäspituus:	$l_r := 800 \text{ mm}$		

Kuormat:

Pysyvät kuormat:

Yläpohjan omapaino: $g_{k.1} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k.2} := \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot b \cdot g_p = 1.9 \frac{kN}{m}$

Muuttuvat kuormat:

Lumikuorma maassa: $S_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$

Lumikuorma katolla: $q_{k.1} := 2.1 \frac{kN}{m^2}$

Pääkannatimien k-jako: $s := 9 \text{ m}$

2-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.15$

KRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.k} := g_{k.1} \cdot s \cdot k + g_{k.2} = 9.145 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.k} := q_{k.1} \cdot s \cdot k = 21.735 \frac{kN}{m}$

$$p_k := p_{g.k} + p_{q.k} = 43.47 \frac{kN}{m}$$

MRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.d} := 1.15 \cdot p_{g.k} = 10.516 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.d} := 1.5 \cdot p_{q.k} = 32.603 \frac{kN}{m}$

$$p_d := 1.15 \cdot p_{g.k} + 1.5 \cdot p_{q.k} = 43.119 \frac{kN}{m}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti palkin päästä: $x_m := \frac{L_0 \cdot h_1}{2 \cdot h_2} = 8.211 \text{ m}$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus: $h_m := h_1 \cdot \left(2 - \frac{h_1}{h_2} \right) = 1820 \text{ mm}$

Kiepahdustuentavoima:

Tukemattoman palkin tehollinen jänneväliänneväli: $l_{ef} := 0.9 \cdot L_0 = 21.114 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys: $\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 13.816 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 1.474$

$k_{crit} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 0.461$, kun $1.4 < \lambda_{rel.m}$

Momentti mitoittavassa poikkileikkauksessa:

Omapaino: $M_{g.k} := \frac{p_{g.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 573 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumikuorma: $M_{q.k} := \frac{p_{q.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1361 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Puristusvoima palkin yläreunassa:

Omapaino: $N_{g.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{g.k}}{h_m} = 169.699 \text{ kN}$

Lumikuorma: $N_{q.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{q.k}}{h_m} = 403.338 \text{ kN}$

$$k_L := \max \left(\left[\sqrt{\frac{1}{15} \frac{L_0}{\text{m}}} \right] \right) = 1$$

Kiepahdusvoima:

Omapaino: $Q_{g.k} := k_L \cdot \frac{N_{g.k}}{50 \cdot L_0} = 0.145 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma: $Q_{q.k} := k_L \cdot \frac{N_{q.k}}{50 \cdot L_0} = 0.344 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Mitoitus:**Taivutuskestävyys mittoittavassa poikkileikkauksessa:**

Taivutusmomentti mittoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 2699 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mittoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.452 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d}} = 99.99\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d,max} := \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} = 2966 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d,ap} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h_2^2} = 16.791 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d,ap} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d,ap} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d}} = 94.756\%$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d,max} = (2.966 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_x := \frac{h_2}{2 \cdot 16} = 62.5 \text{ mm}$$

$$A_1 := \frac{h_2}{2} \cdot h_x = (62.5 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_2 := (h_2 - h_x) \cdot h_2 = 3.875 \text{ m}^2$$

$$V_h := (A_1 + A_2) \cdot b = 1.043 \text{ m}^3$$

$$V_b := \left(L \cdot h_1 + \frac{L \cdot (h_2 - h_1)}{2} \right) \cdot b = 10.812 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\frac{V_h}{2}, \frac{2}{3} \cdot V_b \right] \right) = 1.043 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t,90,d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h_2^2} = 0.168 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.395$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} = 94.95\%$$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d,1} := p_{q,d} + p_{g,d} = 43.119 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{d,2} := \frac{p_{q,d}}{2} + p_{g,d} = 26.818 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Tukireaktiot:} \quad A := \frac{\frac{p_{d,2} \cdot L_0^2}{8} + \frac{p_{d,1} \cdot 3 L_0^2}{8}}{L_0} = 457.981 \text{ kN}$$

$$B := p_{d,1} \cdot \frac{L_0}{2} + p_{d,2} \cdot \frac{L_0}{2} - A = 362.374 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 10.621358170188995301 \cdot m$$

$$M_{d.max} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = (2.432 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja} := A \cdot l_{ap.0} - p_{d.1} \cdot l_{ap.0} \cdot \frac{l_{ap.0}}{2} = (2.406 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja} := B - p_{d.2} \cdot l_{ap.0} = 47.803 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff} := k_{cr} \cdot b = 265 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja}}{b_{eff} \cdot h_2} = 0.135 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja}}{b \cdot h_2^2} = 0.136 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 83.042\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.452 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d := \sigma_{m.max} \cdot \tan(\alpha) = 0.923 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \tau_d \leq k_{cr} \cdot f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 41.187\%$$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 505.785 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + b_l}{L_0}\right) = 433.776 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1427 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.721 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 76.814\%$$

Tukipainekestävyys:

$$\text{Palkin tukireaktio: } V_d := \frac{p_d \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 551.922 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_l = 540 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 570 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.583$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 3.857 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.90.d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d} = 0 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d}} = 152.246\%$$

Atrainhelan mitoitus AH40-6-20:

Tangot:

$$\text{Lujuus: } f_y := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Halkaisija: } d := 20 \text{ mm}$$

$$\text{Pinta-ala: } A_s := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.159 \text{ mm}^2$$

Tartuntapituus: $L_a := 400 \text{ mm}$ Tankojen määrä: $n := 6$

$$d_{ef} := 1.25 \cdot d = 25 \text{ mm} \quad \gamma_{M.s} := 1.1$$

$$N_d := V_d = 551.922 \text{ kN}$$

Liimasauvan tartuntalujuus:

$$f_{a.k} := 6.5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right) \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 5.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti:

$$R_{ax.d} := \min \left(\left[\frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{M.s}} \right], \left[k_{mod} \cdot \frac{\pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a.k} \cdot L_a}{\gamma_M} \right] \right) = 104.552 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.t} := R_{ax.d} \cdot n = 627.313 \text{ kN}$$

$$\text{Mitoitusehto: } N_{Rd.t} \geq N_d = 1 \quad ka := \frac{N_d}{N_{Rd.t}} = 87.982\%$$

Teräslevy:

$$\text{Lujuus: } f_{y.k} := 355 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad f_{y.d} := \frac{f_{y.k}}{\gamma_{M.s}} = 322.727 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Levyn koko: } b_{levy} := 200 \text{ mm} \quad l_{levy} := 240 \text{ mm}$$

$$A_l := b_{levy} \cdot l_{levy} = (4.8 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\text{Levyn paksuus: } t := 20 \text{ mm}$$

Puristusjännitys pilarille:

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{A_l} = 11.498 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 73.331\%$$

Tankojen pääty- ja reunaetäisyys: $e := 40 \text{ mm}$

Teräslevyn taivutusmomenttikestävyys:

$$M_d := \frac{\sigma_{c.0.d} \cdot e^2}{2} \cdot b_{levy} = 1.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W := \frac{b_{levy} \cdot t^2}{6} = (1.333 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b.d} := \frac{M_d}{W} = 137.98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{b.d} \leq f_{y.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{b.d}}{f_{y.d}} = 42.755\%$

Leikkausjännitys tuella (teräslevyvahvistus):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 505.785 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + l_{levy}}{L_0}\right) = 440.244 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1427 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.746 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 77.959\%$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 2699 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.452 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 116.682 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.507$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 96.103\%$

Taipuma-arvio:

$$h_e := h_1 + 0.33 \cdot L_0 \cdot \tan(\alpha) = 1787 \text{ mm}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h_e^3}{12} = (1.26 \cdot 10^{11}) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvästä kuormasta:

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 25.021 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta:

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 59.468 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.1} := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 106.637 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma:

$$\text{Mitoitusehto: } w_{fin.sall} := \frac{L_0}{200} = 117.3 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{fin}}{w_{fin.sall}} = 90.91\%$$

Lopputaipuma:

$$\text{Ennakkokorotus } L/400: \quad w_c := \frac{L}{400} = 60 \text{ mm}$$

$$w_{net.fin} := w_{fin} - w_c = 46.637 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } w_{net.fin.sall} := \frac{L_0}{300} = 78.2 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{net.fin}}{w_{net.fin.sall}} = 59.639\%$$

Palomitoitus R30:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen kuormat:

$$p_{d.fi} := p_{g.k} + 0.4 \cdot p_{q.k} = 17.839 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitat palotilanteessa:

Palo kolmelta sivulta

Palkin korkeus: $h_{1,fi} := h_1 - d_{ef} = 1372 \text{ mm}$

$$h_{2,fi} := h_2 - d_{ef} = 1972 \text{ mm}$$

$$h_{3,fi} := h_3 - d_{ef} = 1372 \text{ mm}$$

Palkin leveys: $b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 209 \text{ mm}$

Tuen pituus: $b_{l,fi} := b_l - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti palkin päästä: $x_{m,fi} := \frac{L_0 \cdot h_{1,fi}}{2 \cdot h_{2,fi}} = 8.161 \text{ m}$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus: $h_{m,fi} := h_{1,fi} \cdot \left(2 - \frac{h_{1,fi}}{h_{2,fi}}\right) = 1789 \text{ mm}$

Taivutuskestävyys mittoittavassa poikkileikkauksessa:

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d,fi} := \frac{p_{d,fi} \cdot L_0 \cdot x_{m,fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m,fi}}{L_0}\right) = 1114 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m,d,fi} := \frac{6 \cdot M_{d,fi}}{b_{fi} \cdot h_{m,fi}^2} = 9.984 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d,fi}}{1.5 \cdot f_{v,d,fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d,fi}}{f_{c,90,d,fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d,fi} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d,fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d,fi}} = 30.11\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d,max.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0^2}{8} = 1227 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d.ap.fi} := \frac{6 \cdot M_{d,max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 9.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d.fi}} = 28.453\%$$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d,max.fi} = (1.227 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_{x.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2 \cdot 16} = 61.625 \text{ mm}$$

$$A_{1.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2} \cdot h_{x.fi} = (60.762 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_{2.fi} := (h_{2.fi} - h_{x.fi}) \cdot h_{2.fi} = 3.767 \text{ m}^2 \quad V_{h.fi} := (A_{1.fi} + A_{2.fi}) \cdot b_{fi} = 0.8 \text{ m}^3$$

$$V_{b.fi} := \left(L \cdot h_{1.fi} + \frac{L \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi})}{2} \right) \cdot b_{fi} = 8.387 \text{ m}^3$$

$$V_{fi} := \min \left(\left[\frac{V_{h.fi}}{2} \cdot V_{b.fi} \right] \right) = 0.8 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d,max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.091 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V_{fi}} \right)^{0.2} = 0.416$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t.90.d.fi} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 27.036\%$$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d.1.fi} := 0.4 \cdot p_{q.k} + p_{g.k} = 17.839 \frac{kN}{m} \quad p_{d.2.fi} := \frac{0.4 \cdot p_{q.k}}{2} + p_{g.k} = 13.492 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Tukireaktiot: } A := \frac{\frac{p_{d.2.fi} \cdot L_0^2}{8} + \frac{p_{d.1.fi} \cdot 3 L_0^2}{8}}{L_0} = 196.5 \text{ } kN$$

$$B := p_{d.1.fi} \cdot \frac{L_0}{2} + p_{d.2.fi} \cdot \frac{L_0}{2} - A = 171.005 \text{ } kN$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1.fi} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 11.015397426567070285 \cdot m$$

$$M_{d.max.fi} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1.fi} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = (1.082 \cdot 10^3) \text{ } kN \cdot m$$

$$M_{d.harja.fi} := A \cdot l_{ap.0} - p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0} \cdot \frac{l_{ap.0}}{2} = (1.078 \cdot 10^3) \text{ } kN \cdot m$$

$$V_{d.harja.fi} := B - p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0} = 12.748 \text{ } kN$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff.fi} := k_{cr} \cdot b_{fi} = 209 \text{ } mm$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja.fi}}{b_{eff.fi} \cdot h_{2.fi}} = 0.046 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.08 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 24.895\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m,max.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 9.984 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d.fi} := \sigma_{m,max.fi} \cdot \tan(\alpha) = 0.499 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_{d.fi} \leq k_{cr} \cdot f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.fi}} = 12.403\%$$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0}{2} = 209.248 \text{ kN}$$

$$V_{red.fi} := V_{d.fi} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_{1.fi} + b_{l.fi}}{L_0}\right) = 180.456 \text{ kN}$$

$$x_{m.2.fi} := \frac{b_{l.fi}}{20} = 0.024 \text{ m} \quad h_{m.2.fi} := h_{1.fi} + x_{m.2.fi} = 1396 \text{ mm}$$

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.2.fi}} = 0.928 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_{d.fi} \leq f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} = 23.046\%$$

Tukipainekestävyys:

$$\text{Palkin tukireaktio: } V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 228.335 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.fi} = 484 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 514 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.593$$

$$\sigma_{c.90.d.fi} := \frac{V_{d.fi}}{b_{fi} \cdot l} = 2.257 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.90.d.fi} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d.fi}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi}} = 49.287\%$$

Kiepahduskestävyys:

$$\text{Kiepahdustuentaväli: } a := 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Tehollinen kiepahdustuentaväli: } l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$$

$$c := 0.7 \quad (\text{liimapuu GL30c})$$

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 1114 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 9.984 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit.fi} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{m.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05.fi} = 84.89 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Suhteellinen hoikkuus: } \lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit.fi}}} = 0.594$$

$$k_{crit} := 1 \quad , \text{ kun } \lambda_{rel.m} \leq 0.75$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m.d.fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} = 28.939\%$$

Liite 7. Harjapalkki: LP2

Harjapalkin mitoitus: LP2

Liimapuun lujuusluokka: GL30c	$\gamma_M := 1.25$
Käyttöluokka: 1	
Seuraamusluokka: CC2	$K_{FI} := 1.0$
Palonkesto aika: R30	
Kuorman aikaluokka: keskipitkä	$k_{mod} := 0.8$

Liimapuun materiaallujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$
Tiheys:	$\rho_{mean} := 430 \frac{kg}{m^3}$	$g_\rho := \rho_{mean} \cdot g = 4.217 \frac{kN}{m^3}$

Harjapalkin mitat:

$h_1 := 1350 \text{ mm}$	$h_2 := 1950 \text{ mm}$	$h_3 := 1350 \text{ mm}$	$b := 215 \text{ mm}$
Palkin pituus:	$L := 24 \text{ m}$	Harjan et. vasem:	$l_{ap} := 12 \text{ m}$
Tuen pituus:	$b_l := 540 \text{ mm}$		
Palkin jänneväli:	$L_0 := L - b_l = 23.46 \text{ m}$	$l_{ap.0} := \frac{L_0}{2} = 11.73 \text{ m}$	
Räystäspituus:	$l_r := 800 \text{ mm}$		

Kuormat:

Pysyvät kuormat:

Yläpohjan omapaino: $g_{k.1} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k.2} := \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot b \cdot g_\rho = 1.496 \frac{kN}{m}$

Muuttuvat kuormat:

Lumikuorma maassa: $S_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$

Lumikuorma katolla: $q_{k.1} := 2.00 \frac{kN}{m^2}$

Pääkannatimien k-jako: $s := 7.3 \text{ m}$

3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.10$

KRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.k} := g_{k.1} \cdot s \cdot k + g_{k.2} = 7.117 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.k} := q_{k.1} \cdot s \cdot k = 16.06 \frac{kN}{m}$

$$p_k := p_{g.k} + p_{q.k} = 32.12 \frac{kN}{m}$$

MRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.d} := 1.15 \cdot p_{g.k} = 8.184 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.d} := 1.5 \cdot p_{q.k} = 24.09 \frac{kN}{m}$

$$p_d := 1.15 \cdot p_{g.k} + 1.5 \cdot p_{q.k} = 32.274 \frac{kN}{m}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti palkin päästä: $x_m := \frac{L_0 \cdot h_1}{2 \cdot h_2} = 8.121 \text{ m}$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus: $h_m := h_1 \cdot \left(2 - \frac{h_1}{h_2} \right) = 1765 \text{ mm}$

Kiepahdustuentavoima:

Tukemattoman palkin tehollinen jänneväliänneväli: $l_{ef} := 0.9 \cdot L_0 = 21.114 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys: $\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 9.375 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 1.789$

$k_{crit} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 0.313$, kun $1.4 < \lambda_{rel.m}$

Momentti mitoittavassa poikkileikkauksessa:

Omapaino: $M_{g.k} := \frac{p_{g.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 443 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumikuorma: $M_{q.k} := \frac{p_{q.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1000 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Puristusvoima palkin yläreunassa:

Omapaino: $N_{g.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{g.k}}{h_m} = 172.619 \text{ kN}$

Lumikuorma: $N_{q.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{q.k}}{h_m} = 389.531 \text{ kN}$

$$k_L := \max \left(\left[\sqrt{\frac{1}{\frac{15}{L_0} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}}} \right] \right) = 1$$

Kiepahdusvoima:

Omapaino: $Q_{g.k} := k_L \cdot \frac{N_{g.k}}{50 \cdot L_0} = 0.147 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma: $Q_{q.k} := k_L \cdot \frac{N_{q.k}}{50 \cdot L_0} = 0.332 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Mitoitus:**Taivutuskestävyys mitoitettavassa poikkileikkauksessa:**

Taivutusmomentti mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 2010 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d}} = 97.54\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d,max} := \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} = 2220 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d,ap} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h_2^2} = 16.296 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d,ap} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d,ap} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d}} = 91.959\%$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d,max} = (2.22 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_x := \frac{h_2}{2 \cdot 16} = 60.938 \text{ mm} \quad A_1 := \frac{h_2}{2} \cdot h_x = (59.414 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_2 := (h_2 - h_x) \cdot h_2 = 3.684 \text{ m}^2 \quad V_h := (A_1 + A_2) \cdot b = 0.805 \text{ m}^3$$

$$V_b := \left(L \cdot h_1 + \frac{L \cdot (h_2 - h_1)}{2} \right) \cdot b = 8.514 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\begin{array}{c} V_h \\ \frac{2}{3} \cdot V_b \end{array} \right] \right) = 0.805 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t,90,d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h_2^2} = 0.163 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.416$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} = 87.483\%$$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d,1} := p_{q,d} + p_{g,d} = 32.274 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{d,2} := \frac{p_{q,d}}{2} + p_{g,d} = 20.229 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Tukireaktiot:} \quad A := \frac{\frac{p_{d,2} \cdot L_0^2}{8} + \frac{p_{d,1} \cdot 3 L_0^2}{8}}{L_0} = 343.258 \text{ kN}$$

$$B := p_{d,1} \cdot \frac{L_0}{2} + p_{d,2} \cdot \frac{L_0}{2} - A = 272.614 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 10.635575772278018718 \cdot m$$

$$M_{d.max} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = (1.825 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja} := A \cdot l_{ap.0} - p_{d.1} \cdot l_{ap.0} \cdot \frac{l_{ap.0}}{2} = (1.806 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja} := B - p_{d.2} \cdot l_{ap.0} = 35.322 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff} := k_{cr} \cdot b = 215 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja}}{b_{eff} \cdot h_2} = 0.126 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja}}{b \cdot h_2^2} = 0.133 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 76.8\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d := \sigma_{m.max} \cdot \tan(\alpha) = 0.9 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \tau_d \leq k_{cr} \cdot f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 40.178\%$$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 378.58 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + b_l}{L_0}\right) = 326.295 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1377 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.653 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 73.804\%$$

Tukipainekestävyys:

$$\text{Palkin tukireaktio: } V_d := \frac{p_d \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 413.113 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_l = 540 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 570 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c.\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.583$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 3.558 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.90.d} \leq k_{c.\perp} \cdot f_{c.90.d} = 0 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.\perp} \cdot f_{c.90.d}} = 140.457\%$$

Atrainhelan mitoitus AH40-6-20:

Tangot:

$$\text{Lujuus: } f_y := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Halkaisija: } d := 20 \text{ mm}$$

$$\text{Pinta-ala: } A_s := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.159 \text{ mm}^2$$

Tartuntapituus: $L_a := 400 \text{ mm}$ Tankojen määrä: $n := 6$

$$d_{ef} := 1.25 \cdot d = 25 \text{ mm} \quad \gamma_{M.s} := 1.1$$

$$N_d := V_d = 413.113 \text{ kN}$$

Liimasauvan tartuntalujuus:

$$f_{a.k} := 6.5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right) \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 5.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti:

$$R_{ax.d} := \min \left(\left[\frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{M.s}} \right], \left[k_{mod} \cdot \frac{\pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a.k} \cdot L_a}{\gamma_M} \right] \right) = 104.552 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.t} := R_{ax.d} \cdot n = 627.313 \text{ kN}$$

Mitoitusehto: $N_{Rd.t} \geq N_d = 1$ $ka := \frac{N_d}{N_{Rd.t}} = 65.854\%$

Teräslevy:

Lujuus: $f_{y.k} := 355 \frac{N}{\text{mm}^2}$ $f_{y.d} := \frac{f_{y.k}}{\gamma_{M.s}} = 322.727 \frac{N}{\text{mm}^2}$

Levyn koko: $b_{levy} := 160 \text{ mm}$ $l_{levy} := 240 \text{ mm}$

$$A_l := b_{levy} \cdot l_{levy} = (3.84 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Levyn paksuus: $t := 20 \text{ mm}$

Puristusjännitys pilarille:

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{A_l} = 10.758 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 68.611\%$

Tankojen pääty- ja reunaetäisyys: $e := 40 \text{ mm}$

Teräslevyn taivutusmomenttikestävyys:

$$M_d := \frac{\sigma_{c.0.d} \cdot e^2}{2} \cdot b_{levy} = 1.377 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W := \frac{b_{levy} \cdot t^2}{6} = (1.067 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b.d} := \frac{M_d}{W} = 129.098 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{b.d} \leq f_{y.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{b.d}}{f_{y.d}} = 40.002\%$

Leikkausjännitys tuella (teräslevyvahvistus):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 378.58 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + l_{levy}}{L_0}\right) = 331.136 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1377 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.678 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 74.899\%$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 2010 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 79.181 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.616$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 93.748\%$

Taipuma-arvio:

$$h_e := h_1 + 0.33 \cdot L_0 \cdot \tan(\alpha) = 1737 \text{ mm}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h_e^3}{12} = (9.391 \cdot 10^{10}) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormasta:

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 25.965 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta:

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 58.592 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.1} := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 107.166 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma:

$$\text{Mitoitusehto: } w_{fin.sall} := \frac{L_0}{200} = 117.3 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{fin}}{w_{fin.sall}} = 91.361\%$$

Lopputaipuma:

$$\text{Ennakkokorotus } L/400: \quad w_c := \frac{L_0}{400} = 58.65 \text{ mm}$$

$$w_{net.fin} := w_{fin} - w_c = 48.516 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } w_{net.fin.sall} := \frac{L_0}{300} = 78.2 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{net.fin}}{w_{net.fin.sall}} = 62.041\%$$

Palomitoitus R30:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen kuormat:

$$p_{d.fi} := p_{g.k} + 0.4 \cdot p_{q.k} = 13.541 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitat palotilanteessa:

Palo kolmelta sivulta

Palkin korkeus: $h_{1.fi} := h_1 - d_{ef} = 1322 \text{ mm}$

$$h_{2.fi} := h_2 - d_{ef} = 1922 \text{ mm}$$

$$h_{3.fi} := h_3 - d_{ef} = 1322 \text{ mm}$$

Palkin leveys: $b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$

Tuen pituus: $b_{l.fi} := b_l - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti palkin päästä: $x_{m.fi} := \frac{L_0 \cdot h_{1.fi}}{2 \cdot h_{2.fi}} = 8.068 \text{ m}$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus: $h_{m.fi} := h_{1.fi} \cdot \left(2 - \frac{h_{1.fi}}{h_{2.fi}} \right) = 1735 \text{ mm}$

Taivutuskestävyys mitoitavassa poikkileikkauksessa:

Taivutusmomentti mitoitavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0} \right) = 841 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoitavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.544 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m.\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{1.5 \cdot f_{v.d.fi}} \cdot \tan(\alpha) \right)^2 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{f_{c.90.d.fi}} \cdot \tan(\alpha) \right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi}} = 31.798\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d,max.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0^2}{8} = 932 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d.ap.fi} := \frac{6 \cdot M_{d,max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 9.516 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d.fi}} = 29.886\%$$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d,max.fi} = 931.568 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_{x.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2 \cdot 16} = 60.063 \text{ mm}$$

$$A_{1.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2} \cdot h_{x.fi} = (57.72 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_{2.fi} := (h_{2.fi} - h_{x.fi}) \cdot h_{2.fi} = 3.579 \text{ m}^2 \quad V_{h.fi} := (A_{1.fi} + A_{2.fi}) \cdot b_{fi} = 0.578 \text{ m}^3$$

$$V_{b.fi} := \left(L \cdot h_{1.fi} + \frac{L \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi})}{2} \right) \cdot b_{fi} = 6.19 \text{ m}^3$$

$$V_{fi} := \min \left(\left[\frac{V_{h.fi}}{2} \cdot V_{b.fi} \right] \right) = 0.578 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d,max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.095 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V_{fi}} \right)^{0.2} = 0.444$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t.90.d.fi} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 26.612\%$$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d.1.fi} := 0.4 \cdot p_{q.k} + p_{g.k} = 13.541 \frac{kN}{m} \quad p_{d.2.fi} := \frac{0.4 \cdot p_{q.k}}{2} + p_{g.k} = 10.329 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Tukireaktiot: } A := \frac{\frac{p_{d.2.fi} \cdot L_0^2}{8} + \frac{p_{d.1.fi} \cdot 3 L_0^2}{8}}{L_0} = 149.416 \text{ kN}$$

$$B := p_{d.1.fi} \cdot \frac{L_0}{2} + p_{d.2.fi} \cdot \frac{L_0}{2} - A = 130.578 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1.fi} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 11.03439125166084835 \cdot m$$

$$M_{d.max.fi} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1.fi} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = 824.357 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja.fi} := A \cdot l_{ap.0} - p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0} \cdot \frac{l_{ap.0}}{2} = 821.081 \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja.fi} := B - p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0} = 9.419 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff.fi} := k_{cr} \cdot b_{fi} = 159 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja.fi}}{b_{eff.fi} \cdot h_{2.fi}} = 0.046 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.084 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 24.604\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m,max.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.544 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d.fi} := \sigma_{m,max.fi} \cdot \tan(\alpha) = 0.527 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_{d.fi} \leq k_{cr} \cdot f_{v.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\tau_{d.fi}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.fi}} = 13.098\%$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0}{2} = 158.835 \text{ kN}$$

$$V_{red.fi} := V_{d.fi} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_{1.fi} + b_{l.fi}}{L_0}\right) = 137.657 \text{ kN}$$

$$x_{m.2.fi} := \frac{b_{l.fi}}{20} = 0.024 \text{ m} \quad h_{m.2.fi} := h_{1.fi} + x_{m.2.fi} = 1346 \text{ mm}$$

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.2.fi}} = 0.965 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_{d.fi} \leq f_{v.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} = 23.967\%$

Tukipainekestävyys:

Palkin tukireaktio: $V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 173.324 \text{ kN}$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.fi} = 484 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 514 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.593$$

$$\sigma_{c.90.d.fi} := \frac{V_{d.fi}}{b_{fi} \cdot l} = 2.252 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.90.d.fi} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d.fi}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi}} = 49.178\%$$

Kiepahduskestävyys:

$$\text{Kiepahdustuentaväli: } a := 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Tehollinen kiepahdustuentaväli: } l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$$

$$c := 0.7 \quad (\text{liimapuu GL30c})$$

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 841 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.544 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit.fi} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{m.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05.fi} = 50.682 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Suhteellinen hoikkuus: } \lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit.fi}}} = 0.769$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 0.983, \text{ kun } 0.75 < \lambda_{rel.m} \leq 1.4$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m.d.fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} = 31.091\%$$

Liite 8. Harjapalkki: LP3

Harjapalkin mitoitus: LP3

Liimapuun lujuusluokka: GL30c	$\gamma_M := 1.25$
Käyttöluokka: 1	
Seuraamusluokka: CC2	$K_{FI} := 1.0$
Palonkesto aika: R30	
Kuorman aikaluokka: keskipitkä	$k_{mod} := 0.8$

Liimapuun materiaallujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$
Tiheys:	$\rho_{mean} := 430 \frac{kg}{m^3}$	$g_\rho := \rho_{mean} \cdot g = 4.217 \frac{kN}{m^3}$

Harjapalkin mitat:

$h_1 := 1305 \text{ mm}$	$h_2 := 1905 \text{ mm}$	$h_3 := 1505 \text{ mm}$	$b := 190 \text{ mm}$
Palkin pituus:	$L := 20 \text{ m}$	Harjan et. vasem:	$l_{ap.v} := 12 \text{ m}$
Tuen pituus:	$b_l := 540 \text{ mm}$	Harjan et. oik:	$l_{ap.o} := L - l_{ap.v} = 8 \text{ m}$
Palkin jänneväli:	$L_0 := L - b_l = 19.46 \text{ m}$		$l_{ap.0.v} := l_{ap.v} - \frac{b_l}{2} = 11.73 \text{ m}$
Räystäspituus:	$l_r := 800 \text{ mm}$		$l_{ap.0.o} := l_{ap.o} - \frac{b_l}{2} = 7.73 \text{ m}$

Kuormat:

Pysyvät kuormat:

Yläpohjan omapaino: $g_{k.1} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k.2} := \frac{(h_1 + h_2) \cdot l_{ap.v} + (h_2 + h_3) \cdot l_{ap.o}}{2 \cdot L} \cdot b \cdot g_p = 1.318 \frac{kN}{m}$

Muuttuvat kuormat:

Lumikuorma maassa: $S_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$

Lumikuorma katolla: $q_{k.1} := 2.00 \frac{kN}{m^2}$

Pääkannatimien k-jako: $s := 8.4 \text{ m}$

3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.10$

KRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.k} := g_{k.1} \cdot s \cdot k + g_{k.2} = 7.786 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.k} := q_{k.1} \cdot s \cdot k = 18.48 \frac{kN}{m}$

$$p_k := p_{g.k} + p_{q.k} = 36.96 \frac{kN}{m}$$

MRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.d} := 1.15 \cdot p_{g.k} = 8.954 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.d} := 1.5 \cdot p_{q.k} = 27.72 \frac{kN}{m}$

$$p_d := 1.15 \cdot p_{g.k} + 1.5 \cdot p_{q.k} = 36.674 \frac{kN}{m}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen sijainti palkin päästä: $x_m := \frac{l_{ap.0.v}}{\frac{h_2}{h_1} + 2 \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{L_0} - 1} = 7.044 \text{ m}$

Mitoittavan poikkileikkauksen korkeus: $h_m := h_1 + \frac{x_m}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_2 - h_1) = 1665 \text{ mm}$

Kiepahdustuentavoima:

Tukemattoman palkin tehollinen jänneväliänneväli: $l_{ef} := 0.9 \cdot L_0 = 17.514 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys: $\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 9.357 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 1.791$

$k_{crit} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 0.312$, kun $1.4 < \lambda_{rel.m}$

Momentti mitoittavassa poikkileikkauksessa:

Omapaino: $M_{g.k} := \frac{p_{g.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 340 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumikuorma: $M_{q.k} := \frac{p_{q.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 808 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Puristusvoima palkin yläreunassa:

Omapaino: $N_{g.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{g.k}}{h_m} = 140.679 \text{ kN}$

Lumikuorma: $N_{q.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{q.k}}{h_m} = 333.902 \text{ kN}$

$$k_L := \max \left(\left[\sqrt{\frac{1}{\frac{15}{L_0}}} \right] \right) = 1$$

Kiepahdusvoima:

Omapaino: $Q_{g.k} := k_L \cdot \frac{N_{g.k}}{50 \cdot L_0} = 0.145 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma: $Q_{q.k} := k_L \cdot \frac{N_{q.k}}{50 \cdot L_0} = 0.343 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Mitoitus:**Taivutuskestävyys mitoitettavassa poikkileikkauksessa:**

Taivutusmomentti mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1604 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.262 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d}} = 98.959\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d.ap} := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot l_{ap.0.v}}{2} \cdot \left(1 - \frac{l_{ap.0.v}}{L_0}\right) = 1663 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d.ap} := \frac{6 \cdot M_{d.ap}}{b \cdot h_2^2} = 14.468 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.ap} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.ap} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d}} = 81.647\%$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d.ap} = (1.663 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_x := \frac{h_2}{2 \cdot 16} = 59.531 \text{ mm} \quad A_1 := \frac{h_2}{2} \cdot h_x = (56.704 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_2 := (h_2 - h_x) \cdot h_2 = 3.516 \text{ m}^2 \quad V_h := (A_1 + A_2) \cdot b = 0.679 \text{ m}^3$$

$$V_b := \left(L \cdot h_1 + \frac{L \cdot (h_2 - h_1)}{2} \right) \cdot b = 6.099 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\begin{array}{c} V_h \\ \frac{2}{3} \cdot V_b \end{array} \right] \right) = 0.679 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.ap}}{b \cdot h_2^2} = 0.145 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.43$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t.90.d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 75.071\%$$

Taivutuskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

Harjapalkin poikkileikkaus maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$h_{m.max} := h_1 + \frac{0.5 \cdot L_0}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_2 - h_1) = 1803 \text{ mm}$$

Maksimitaivutusmomentti:

$$M_{d.max} := \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} = 1736 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimitaivutusjännitys:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_{d.max}}{b \cdot h_{m.max}^2} = 16.87 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m.d}} = 91.416\%$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d.1} := p_{q.d} + p_{g.d} = 36.674 \frac{kN}{m} \quad p_{d.2} := \frac{p_{q.d}}{2} + p_{g.d} = 22.814 \frac{kN}{m}$$

Tukireaktiot: $A := \frac{\frac{p_{d.2} \cdot l_{ap.0.o}^2}{2} + p_{d.1} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \left(l_{ap.0.o} + \frac{l_{ap.0.v}}{2}\right)}{L_0} = 335.558 \text{ kN}$

$$B := p_{d.1} \cdot l_{ap.0.v} + p_{d.2} \cdot l_{ap.0.o} - A = 270.978 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 9.1497801664792222817 \cdot m$$

$$M_{d.max} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = 1535.1 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja} := A \cdot l_{ap.0.v} - p_{d.1} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{2} = 1413.1 \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja} := B - p_{d.2} \cdot l_{ap.0.o} = 94.627 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff} := k_{cr} \cdot b = 190 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja}}{b_{eff} \cdot h_2} = 0.392 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja}}{b \cdot h_2^2} = 0.123 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 81.308\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.262 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d := \sigma_{m.max} \cdot \tan(\alpha) = 0.913 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq k_{cr} \cdot f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 40.762\%$$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 356.837 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + b_l}{L_0}\right) = 299.075 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1332 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.773 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 79.135\%$$

Tukipainekestävyys:

Palkin tukireaktio: $V_d := \frac{p_d \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 396.078 \text{ kN}$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_l = 540 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 570 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c.\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.583$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 3.86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.90.d} \leq k_{c.\perp} \cdot f_{c.90.d} = 0$ $ka := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.\perp} \cdot f_{c.90.d}} = 152.385\%$

Atrainhelan mitoitus AH40-6-20:

Tangot:

Lujuus: $f_y := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Halkaisija: $d := 20 \text{ mm}$

Pinta-ala: $A_s := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.159 \text{ mm}^2$

Tartuntapituus: $L_a := 400 \text{ mm}$ Tankojen määrä: $n := 6$

$$d_{ef} := 1.25 \cdot d = 25 \text{ mm} \quad \gamma_{M.s} := 1.1$$

$$N_d := V_d = 396.078 \text{ kN}$$

Liimasauvan tartuntalujuus:

$$f_{a.k} := 6.5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right) \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 5.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti:

$$R_{ax.d} := \min \left(\left[\frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{M.s}} \right], \left[k_{mod} \cdot \frac{\pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a.k} \cdot L_a}{\gamma_M} \right] \right) = 104.552 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.t} := R_{ax.d} \cdot n = 627.313 \text{ kN}$$

Mitoitusehto: $N_{Rd.t} \geq N_d = 1$ $ka := \frac{N_d}{N_{Rd.t}} = 63.139\%$

Teräslevy:

Lujuus: $f_{y.k} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ $f_{y.d} := \frac{f_{y.k}}{\gamma_{M.s}} = 322.727 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Levyn koko: $b_{levy} := 160 \text{ mm}$ $l_{levy} := 240 \text{ mm}$

$$A_l := b_{levy} \cdot l_{levy} = (3.84 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Levyn paksuus: $t := 20 \text{ mm}$

Puristusjännitys pilarille:

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{A_l} = 10.315 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 65.781\%$

Tankojen pääty- ja reunaetäisyys: $e := 40 \text{ mm}$

Teräslevyn taivutusmomenttikestävyys:

$$M_d := \frac{\sigma_{c.0.d} \cdot e^2}{2} \cdot b_{levy} = 1.32 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W := \frac{b_{levy} \cdot t^3}{6} = (1.067 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b.d} := \frac{M_d}{W} = 123.774 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{b.d} \leq f_{y.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{b.d}}{f_{y.d}} = 38.353\%$

Leikkausjännitys tuella (teräslevyvahvistus):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 356.837 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + l_{levy}}{L_0}\right) = 304.577 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_l}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1332 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.805 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 80.59\%$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1604 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.262 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 65.554 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.676$

$k_{crit} := 1$,kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} = 95.112\%$

Taipuma-arvio:

$$h_e := h_1 + 0.33 \cdot L_0 \cdot \tan(\alpha) = 1626 \text{ mm}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h_e^3}{12} = (6.808 \cdot 10^{10}) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvästä kuormasta:

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 19.031 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta:

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 45.169 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.1} := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 81.039 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma:

$$\text{Mitoitusehto: } w_{fin.sall} := \frac{L_0}{200} = 97.3 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{fin}}{w_{fin.sall}} = 83.288\%$$

Lopputaipuma:

$$\text{Ennakkokorotus } L/400: \quad w_c := \frac{L_0}{400} = 48.65 \text{ mm}$$

$$w_{net.fin} := w_{fin} - w_c = 32.389 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } w_{net.fin.sall} := \frac{L_0}{300} = 64.867 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{net.fin}}{w_{net.fin.sall}} = 49.931\%$$

Palomitoitus R30:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen kuormat:

$$p_{d.fi} := p_{g.k} + 0.4 \cdot p_{q.k} = 15.178 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitat palotilanteessa:

Palo kolmelta sivulta

Palkin korkeus: $h_{1.fi} := h_1 - d_{ef} = 1277 \text{ mm}$

$$h_{2.fi} := h_2 - d_{ef} = 1877 \text{ mm}$$

$$h_{3.fi} := h_3 - d_{ef} = 1477 \text{ mm}$$

Palkin leveys: $b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 134 \text{ mm}$

Tuen pituus: $b_{l.fi} := b_l - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen
sijainti palkin päästä:

$$x_{m.fi} := \frac{l_{ap.0.v}}{\frac{h_{2.fi}}{h_{1.fi}} + 2 \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{L_0} - 1} = 7.001 \text{ m}$$

Mitoittavan poikkileikkauksen
korkeus:

$$h_{m.fi} := h_{1.fi} + \frac{x_{m.fi}}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi}) = 1635 \text{ mm}$$

Taivutuskestävyys mittoittavassa poikkileikkauksessa:

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 662 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 11.086 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m.\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.889$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi}} = 36.134\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d.ap.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot l_{ap.0.v}}{2} \cdot \left(1 - \frac{l_{ap.0.v}}{L_0}\right) = 688 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d.ap.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.ap.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 8.745 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d.fi}} = 27.466\%$$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d.ap.fi} = 688.116 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_{x.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2 \cdot 16} = 58.656 \text{ mm}$$

$$A_{1.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2} \cdot h_{x.fi} = (55.049 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_{2.fi} := (h_{2.fi} - h_{x.fi}) \cdot h_{2.fi} = 3.413 \text{ m}^2 \quad V_{h.fi} := (A_{1.fi} + A_{2.fi}) \cdot b_{fi} = 0.465 \text{ m}^3$$

$$V_{b.fi} := \left(L \cdot h_{1.fi} + \frac{L \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi})}{2} \right) \cdot b_{fi} = 4.226 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\frac{2}{3} \cdot V_{b.fi} \right] \right) = 0.465 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.ap.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.087 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.464$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t.90.d.fi} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 23.411\%$

Taivutuskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

Harjapalkin poikkileikkaus maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$h_{m.max.fi} := h_{1.fi} + \frac{0.5 \cdot L_0}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi}) = 1775 \text{ mm}$$

Maksimitaivutusmomentti:

$$M_{d.max.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0^2}{8} = 718 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimitaivutusjännitys:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.max.fi}^2} = 10.214 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m.\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{1.5 \cdot f_{v.d.fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{f_{c.90.d.fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi}} = 30.804\%$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d.1.fi} := 0.4 \cdot p_{q.d} + p_{g.d} = 20.042 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{d.2.fi} := \frac{0.4 \cdot p_{q.d}}{2} + p_{g.d} = 14.498 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot: $A := \frac{\frac{p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o}^2}{2} + p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \left(l_{ap.0.o} + \frac{l_{ap.0.v}}{2}\right)}{L_0} = 186.496 \text{ kN}$

$$B := p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} + p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o} - A = 160.664 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1.fi} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 9.3053110126481137344 \cdot m$$

$$M_{d.max.fi} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1.fi} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = 867.7 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja.fi} := A \cdot l_{ap.0.v} - p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{2} = 808.8 \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja.fi} := B - p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o} = 48.595 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff.fi} := k_{cr} \cdot b_{fi} = 134 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja.fi}}{b_{eff.fi} \cdot h_{2.fi}} = 0.29 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.103 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 34.717\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 11.086 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d.fi} := \sigma_{m.max.fi} \cdot \tan(\alpha) = 0.554 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_{d.fi} \leq k_{cr} \cdot f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.fi}} = 13.772\%$$

Leikkausjännitys tuella:

$$V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0}{2} = 147.682 \text{ kN}$$

$$V_{red.fi} := V_{d.fi} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_{1.fi} + b_{l.fi}}{L_0} \right) = 124.626 \text{ kN}$$

$$x_{m.2.fi} := \frac{b_{l.fi}}{20} = 0.024 \text{ m} \quad h_{m.2.fi} := h_{1.fi} + x_{m.2.fi} = 1301 \text{ mm}$$

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.2.fi}} = 1.072 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_{d.fi} \leq f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} = 26.637\%$$

Tukipainekestävyys:

$$\text{Palkin tukireaktio: } V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot (L + 2 \cdot l_r)}{2} = 163.922 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.fi} = 484 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 514 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.593$$

$$\sigma_{c.90.d.fi} := \frac{V_{d.fi}}{b_{fi} \cdot l} = 2.527 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.90.d.fi} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d.fi}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d.fi}} = 55.187\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 662 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 11.086 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit.fi} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{m.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05.fi} = 38.189 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit.fi}}} = 0.886$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 0.895, \text{ kun } 0.75 < \lambda_{rel.m} \leq 1.4$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{m.d.fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} = 35.893\%$$

Liite 9. Harjapalkki: LP4

Harjapalkin mitoitus: LP4

Liimapuun lujuusluokka: GL30c	$\gamma_M := 1.25$
Käyttöluokka: 1	
Seuraamusluokka: CC2	$K_{FI} := 1.0$
Palonkesto aika: R30	
Kuorman aikaluokka: keskipitkä	$k_{mod} := 0.8$

Liimapuun materiaallujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$
Tiheys:	$\rho_{mean} := 430 \frac{kg}{m^3}$	$g_\rho := \rho_{mean} \cdot g = 4.217 \frac{kN}{m^3}$

Harjapalkin mitat:

$h_1 := 1150 \text{ mm}$	$h_2 := 1450 \text{ mm}$	$h_3 := 1100 \text{ mm}$	$b := 215 \text{ mm}$
Palkin pituus:	$L := 16.675 \text{ m}$	Harjan et. vasem:	$l_{ap.v} := 12.04 \text{ m}$
		Harjan et. oik:	$l_{ap.o} := L - l_{ap.v} = 4.635 \text{ m}$
Tuen pituus vasen:	$b_{l.v} := 540 \text{ mm}$	Tuen pituus oikea:	$b_{l.o} := 450 \text{ mm}$

Palkin jänneväli: $L_0 := L - \frac{b_{l.v} + b_{l.o}}{2} = 16.18 \text{ m}$ $l_{ap.0.v} := l_{ap.v} - \frac{b_{l.v}}{2} = 11.77 \text{ m}$

Räystäspituus vas.: $l_{r.v} := 800 \text{ mm}$ $l_{ap.0.o} := l_{ap.o} - \frac{b_{l.o}}{2} = 4.41 \text{ m}$

Kuormat:

Pysyvät kuormat:

Yläpohjan omapaino: $g_{k.1} := 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Palkin omapaino: $g_{k.2} := \frac{(h_1 + h_2) \cdot l_{ap.v} + (h_2 + h_3) \cdot l_{ap.o}}{2 \cdot L} \cdot b \cdot g_p = 1.172 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Muuttuvat kuormat:

Lumikuorma maassa: $S_k := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Lumikuorma katolla: $q_{k.1} := 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pääkannatimien k-jako: $s := 9.0 \text{ m}$

2-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.0$

KRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.k} := g_{k.1} \cdot s \cdot k + g_{k.2} = 7.472 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma: $p_{q.k} := q_{k.1} \cdot s \cdot k = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$p_k := p_{g.k} + p_{q.k} = 36 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

MRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.d} := 1.15 \cdot p_{g.k} = 8.593 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma: $p_{q.d} := 1.5 \cdot p_{q.k} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$p_d := 1.15 \cdot p_{g.k} + 1.5 \cdot p_{q.k} = 35.593 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen
sijainti palkin päästä:

$$x_m := \frac{l_{ap.0.v}}{\frac{h_2}{h_1} + 2 \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{L_0} - 1} = 6.86 \text{ m}$$

Mitoittavan poikkileikkauksen
korkeus:

$$h_m := h_1 + \frac{x_m}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_2 - h_1) = 1325 \text{ mm}$$

Kiepahdustuentavoima:

Tukemattoman palkin tehollinen jänneväliänneväli: $l_{ef} := 0.9 \cdot L_0 = 14.562 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys: $\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 18.114 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 1.287$

$$k_{crit} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 0.604, \text{ kun } 1.4 < \lambda_{rel.m}$$

Momentti mitoittavassa poikkileikkauksessa:

Omapaino: $M_{g.k} := \frac{p_{g.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 239 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumikuorma: $M_{q.k} := \frac{p_{q.k} \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 575 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Puristusvoima palkin yläreunassa:

Omapaino: $N_{g.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{g.k}}{h_m} = 71.436 \text{ kN}$

Lumikuorma: $N_{q.k} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{q.k}}{h_m} = 172.082 \text{ kN}$

$$k_L := \max \left(\left[\sqrt{\frac{1}{\frac{15}{L_0} \cdot \frac{1}{\text{m}}}} \right] \right) = 1$$

Kiepahdusvoima:

Omapaino: $Q_{g,k} := k_L \cdot \frac{N_{g,k}}{50 \cdot L_0} = 0.088 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $Q_{q,k} := k_L \cdot \frac{N_{q,k}}{50 \cdot L_0} = 0.213 \frac{kN}{m}$

Mitoitus:

Taivutuskestävyys mittoittavassa poikkileikkauksessa:

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.091 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1.5 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = 98.033\%$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d,ap} := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot l_{ap,0,v}}{2} \cdot \left(1 - \frac{l_{ap,0,v}}{L_0}\right) = 924 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m,d,ap} := \frac{6 \cdot M_{d,ap}}{b \cdot h_2^2} = 12.261 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{m.d.ap} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.ap} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d}} = 69.192\%$$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d.ap} = 923.744 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_x := \frac{h_2}{2 \cdot 16} = 45.313 \text{ mm} \quad A_1 := \frac{h_2}{2} \cdot h_x = (32.852 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_2 := (h_2 - h_x) \cdot h_2 = 2.037 \text{ m}^2 \quad V_h := (A_1 + A_2) \cdot b = 0.445 \text{ m}^3$$

$$V_b := \left(L \cdot h_1 + \frac{L \cdot (h_2 - h_1)}{2} \right) \cdot b = 4.661 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\frac{V_h}{2} \right], \left[\frac{2}{3} \cdot V_b \right] \right) = 0.445 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.ap}}{b \cdot h_2^2} = 0.123 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.468$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{t.90.d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 58.468\%$$

Taivutuskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

Harjapalkin poikkileikkaus maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$h_{m.max} := h_1 + \frac{0.5 \cdot L_0}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_2 - h_1) = 1356 \text{ mm}$$

Maksimitaivutusmomentti:

$$M_{d,max} := \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} = 1165 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimitaivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h_{m,max}^2} = 17.672 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m,\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1.5 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = 95.767\%$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d,1} := p_{q,d} + p_{g,d} = 35.593 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{d,2} := \frac{p_{q,d}}{2} + p_{g,d} = 22.093 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot: $A := \frac{\frac{p_{d,2} \cdot l_{ap,0,o}^2}{2} + p_{d,1} \cdot l_{ap,0,v} \cdot \left(l_{ap,0,o} + \frac{l_{ap,0,v}}{2}\right)}{L_0} = 279.835 \text{ kN}$

$$B := p_{d,1} \cdot l_{ap,0,v} + p_{d,2} \cdot l_{ap,0,o} - A = 236.527 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m,max} := A - x \cdot p_{d,1} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 7.8620519395422693612 \cdot \text{m}$$

$$M_{d,max} := A \cdot x_{m,max} - p_{d,1} \cdot x_{m,max} \cdot \frac{x_{m,max}}{2} = 1100 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d,harja} := A \cdot l_{ap,0,v} - p_{d,1} \cdot l_{ap,0,v} \cdot \frac{l_{ap,0,v}}{2} = 828.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{d.harja} := B - p_{d.2} \cdot l_{ap.0.o} = 139.096 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff} := k_{cr} \cdot b = 215 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja}}{b_{eff} \cdot h_2} = 0.669 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja}}{b \cdot h_2^2} = 0.11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} + \frac{\sigma_{t.90.d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d}} = 82.302\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.091 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_d := \sigma_{m.max} \cdot \tan(\alpha) = 0.905 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq k_{cr} \cdot f_{v.d} = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 40.381\%$$

Leikkausjännitys tuella (vasen):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 287.949 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + b_{l.v}}{L_0}\right) = 237.406 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_{l.v}}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1177 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.407 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v,d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 62.823\%$

Tukipainekestävyys (vasen):

Palkin tukireaktio: $V_d := \frac{p_d \cdot L}{2} + p_d \cdot l_{r,v} = 325.232 \text{ kN}$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$l := b_{l,v} = 540 \text{ mm}$ $l_{c,90,ef} := l + 30 \text{ mm} = 570 \text{ mm}$

Tukipainekerroin:

$k_{c,90} := 1.5$ (liimapuu)

$k_{c,\perp} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.583$

$\sigma_{c,90,d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 2.801 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 0$ $ka := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}} = 110.578\%$

Atrainhelan mitoitus AH40-4-20:

Tangot:

Lujuus: $f_y := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Halkaisija: $d := 20 \text{ mm}$

Pinta-ala: $A_s := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.159 \text{ mm}^2$

Tartuntapituus: $L_a := 400 \text{ mm}$ Tankojen määrä: $n := 4$

$d_{ef} := 1.25 \cdot d = 25 \text{ mm}$ $\gamma_{M,s} := 1.1$

$N_d := V_d = 325.232 \text{ kN}$

Liimasauvan tartuntalujuus:

$f_{a,k} := 6.5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right) \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 5.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti:

$$R_{ax.d} := \min \left(\left[\frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{M.s}}, k_{mod} \cdot \frac{\pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a.k} \cdot L_a}{\gamma_M} \right] \right) = 104.552 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.t} := R_{ax.d} \cdot n = 418.209 \text{ kN}$$

Mitoitusehto: $N_{Rd.t} \geq N_d = 1$ $ka := \frac{N_d}{N_{Rd.t}} = 77.768\%$

Teräslevy:

Lujuus: $f_{y.k} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ $f_{y.d} := \frac{f_{y.k}}{\gamma_{M.s}} = 322.727 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Levyn koko: $b_{levy} := 160 \text{ mm}$ $l_{levy} := 160 \text{ mm}$

$$A_l := b_{levy} \cdot l_{levy} = (2.56 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Levyn paksuus: $t := 20 \text{ mm}$

Puristusjännitys pilarille:

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{A_l} = 12.704 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 81.023\%$

Tankojen pääty- ja reunaetäisyys: $e := 40 \text{ mm}$

Teräslevyn taivutusmomenttikestävyys:

$$M_d := \frac{\sigma_{c.0.d} \cdot e^2}{2} \cdot b_{levy} = 1.626 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W := \frac{b_{levy} \cdot t^2}{6} = (1.067 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b.d} := \frac{M_d}{W} = 152.453 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{b.d} \leq f_{y.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{b.d}}{f_{y.d}} = 47.239\%$

Leikkausjännitys tuella (teräslevyvahvistus):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 287.949 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + l_{levy}}{L_0} \right) = 244.169 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_{l.v}}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1177 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.447 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \tau_d \leq f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 64.613\%$$

Tukipainekestävyys (oikea):

$$\text{Tukivoima LP5 palkilta:} \quad F_d := 132.627 \text{ kN}$$

$$\text{Palkin tukireaktio:} \quad V_d := \frac{p_d \cdot L}{2} + F_d = 429.385 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.o} = 450 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c.90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 1.6$$

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 4.438 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{c.90.d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d} = 0 \quad ka := \frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c.90.d}} = 173.363\%$$

Atrainhelan mitoitus AH40-6-20:**Tangot:**

Lujuus: $f_y := 500 \frac{N}{mm^2}$ Halkaisija: $d := 20 \text{ mm}$

Pinta-ala: $A_s := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 314.159 \text{ mm}^2$

Tartuntapituus: $L_a := 400 \text{ mm}$ Tankojen määrä: $n := 6$

$d_{ef} := 1.25 \cdot d = 25 \text{ mm}$ $\gamma_{M.s} := 1.1$

$N_d := V_d = 429.385 \text{ kN}$

Liimasauvan tartuntalujuus:

$f_{a.k} := 6.5 \cdot \left(1 - \frac{L_a}{100 \cdot d}\right) \cdot \frac{N}{mm^2} = 5.2 \frac{N}{mm^2}$

Harjaterästankojen puristusvoimakapasiteetti:

$R_{ax.d} := \min \left(\left[\frac{f_y \cdot A_s}{\gamma_{M.s}}, k_{mod} \cdot \frac{\pi \cdot d_{ef} \cdot f_{a.k} \cdot L_a}{\gamma_M} \right] \right) = 104.552 \text{ kN}$

$N_{Rd.t} := R_{ax.d} \cdot n = 627.313 \text{ kN}$

Mitoitusehto: $N_{Rd.t} \geq N_d = 1$ $ka := \frac{N_d}{N_{Rd.t}} = 68.448\%$

Teräslevy:

Lujuus: $f_{y.k} := 355 \frac{N}{mm^2}$ $f_{y.d} := \frac{f_{y.k}}{\gamma_{M.s}} = 322.727 \frac{N}{mm^2}$

Levyn koko: $b_{levy} := 160 \text{ mm}$ $l_{levy} := 240 \text{ mm}$

$A_l := b_{levy} \cdot l_{levy} = (3.84 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Levyn paksuus: $t := 20 \text{ mm}$

Puristusjännitys pilarille:

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{A_l} = 11.182 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 71.313\%$$

$$\text{Tankojen pääty- ja reunaetäisyys: } e := 40 \text{ mm}$$

Teräslevyn taivutusmomenttikestävyys:

$$M_d := \frac{\sigma_{c.0.d} \cdot e^2}{2} \cdot b_{levy} = 1.431 \text{ kN} \cdot m$$

$$W := \frac{b_{levy} \cdot t^2}{6} = (1.067 \cdot 10^4) \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{b.d} := \frac{M_d}{W} = 134.183 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{b.d} \leq f_{y.d} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{b.d}}{f_{y.d}} = 41.578\%$$

Leikkausjännitys tuella (teräslevyvahvistus):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 287.949 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_1 + l_{levy}}{L_0}\right) = 242.745 \text{ kN}$$

$$x_{m.2} := \frac{b_{l.v}}{20} = 0.027 \text{ m} \quad h_{m.2} := h_1 + x_{m.2} = 1177 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h_{m.2}} = 1.439 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v.d} = 1 \quad ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 64.236\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_d := \frac{p_d \cdot L_0 \cdot x_m}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_m}{L_0}\right) = 1138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_m^2} = 18.091 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h_m \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 105.51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.533$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} = 94.222\%$

Taipuma-arvio:

$$h_e := h_1 + 0.33 \cdot L_0 \cdot \tan(\alpha) = 1417 \text{ mm}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h_e^3}{12} = (5.097 \cdot 10^{10}) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvästä kuormasta:

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{g.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 11.947 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta:

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^4}{E_{0.mean} \cdot I_y} + 0.35 \cdot \frac{p_{q.k} \cdot L_0^2}{G_{0.mean} \cdot b \cdot (h_1 + h_2)} = 28.78 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.1} := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 51.349 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma:

$$\text{Mitoitusehto: } w_{fin.sall} := \frac{L_0}{200} = 80.9 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{fin}}{w_{fin.sall}} = 63.472\%$$

Lopputaipuma:

$$\text{Ennakkokorotus } L/400: \quad w_c := \frac{L_0}{400} = 40.45 \text{ mm}$$

$$w_{net.fin} := w_{fin} - w_c = 10.899 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } w_{net.fin.sall} := \frac{L_0}{300} = 53.933 \text{ mm} \quad ka := \frac{w_{net.fin}}{w_{net.fin.sall}} = 20.208\%$$

Palomitoitus R30:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen kuormat:

$$p_{d.fi} := p_{g.k} + 0.4 \cdot p_{q.k} = 14.672 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitat palotilanteessa:

Palo kolmelta sivulta

Palkin korkeus: $h_{1.fi} := h_1 - d_{ef} = 1122 \text{ mm}$

$$h_{2.fi} := h_2 - d_{ef} = 1422 \text{ mm}$$

$$h_{3.fi} := h_3 - d_{ef} = 1072 \text{ mm}$$

Palkin leveys: $b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$

Tuen pituus: $b_{l.v.fi} := b_{l.v} - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{l.o.fi} := b_{l.o} - 2 \cdot d_{ef} = 394 \text{ mm}$$

Harjapalkin mitoittava poikkileikkaus:

Mitoittavan poikkileikkauksen
sijainti palkin päästä:

$$x_{m.fi} := \frac{l_{ap.0.v}}{\frac{h_{2.fi}}{h_{1.fi}} + 2 \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{L_0} - 1} = 6.834 \text{ m}$$

Mitoittavan poikkileikkauksen
korkeus:

$$h_{m.fi} := h_{1.fi} + \frac{x_{m.fi}}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi}) = 1296 \text{ mm}$$

Taivutuskestävyys mitoitettavassa poikkileikkauksessa:

Taivutusmomentti mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 469 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoitettavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.524 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m.\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{1.5 \cdot f_{v.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.889$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi} = 1$

$$ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi}} = 34.302\%$$

Taivutuskestävyys harjalla:

$$M_{d.ap.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot l_{ap.0.v}}{2} \cdot \left(1 - \frac{l_{ap.0.v}}{L_0}\right) = 381 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_l := 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot \tan(\alpha)^2 = 1.084 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{m.d.ap.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.ap.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 7.106 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_r := 1.0 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l \leq k_r \cdot f_{m.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{m.d.ap.fi} \cdot k_l}{k_r \cdot f_{m.d.fi}} = 22.318\%$$

Poikittainen vetokestävyys harjalla:

$$M_{d.ap.fi} = 380.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$h_{x.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2 \cdot 16} = 44.438 \text{ mm}$$

$$A_{1.fi} := \frac{h_{2.fi}}{2} \cdot h_{x.fi} = (31.595 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$A_{2.fi} := (h_{2.fi} - h_{x.fi}) \cdot h_{2.fi} = 1.959 \text{ m}^2 \quad V_{h.fi} := (A_{1.fi} + A_{2.fi}) \cdot b_{fi} = 0.316 \text{ m}^3$$

$$V_{b.fi} := \left(L \cdot h_{1.fi} + \frac{L \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi})}{2} \right) \cdot b_{fi} = 3.372 \text{ m}^3$$

$$V := \min \left(\left[\frac{2}{3} \cdot V_{b.fi} \right] \right) = 0.316 \text{ m}^3$$

$$k_p := 0.2 \cdot \tan(\alpha) = 0.01 \quad (\text{harjapalkille})$$

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.ap.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.071 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_0 := 0.01 \text{ m}^3 \quad (\text{vertailutilavuus})$$

$$k_{vol} := \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2} = 0.501$$

$$k_{dis} := 1.4 \quad (\text{harjapalkit ja kaarevat palkit})$$

Mitoitusehto: $\sigma_{t.90.d.fi} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 17.616\%$

Taivutuskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

Harjapalkin poikkileikkaus maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$h_{m.max.fi} := h_{1.fi} + \frac{0.5 \cdot L_0}{l_{ap.0.v}} \cdot (h_{2.fi} - h_{1.fi}) = 1328 \text{ mm}$$

Maksimitaivutusmomentti:

$$M_{d.max.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0^2}{8} = 480 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimitaivutusjännitys:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.max.fi}^2} = 10.27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin yläpinnan kaltevuus: $\alpha := \arctan\left(\frac{1}{20}\right) = 2.862^\circ$

Kun viistetty reuna on puristettu:

$$k_{m.\alpha} := \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{1.5 \cdot f_{v.d.fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2 + \left(\frac{f_{m.d.fi}}{f_{c.90.d.fi}} \cdot \tan(\alpha)\right)^2}} = 0.961$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{m.\alpha} \cdot f_{m.d.fi}} = 30.974\%$

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla:

KT2: lumi 100%/50% staattinen malli

$$p_{d.1.fi} := 0.4 \cdot p_{q.d} + p_{g.d} = 19.393 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{d.2.fi} := \frac{0.4 \cdot p_{q.d}}{2} + p_{g.d} = 13.993 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot: $A := \frac{\frac{p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o}^2}{2} + p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \left(l_{ap.0.o} + \frac{l_{ap.0.v}}{2}\right)}{L_0} = 153.645 \text{ kN}$

$$B := p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} + p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o} - A = 136.322 \text{ kN}$$

Leikkausvoiman 0-kohta:

$$x_{m.max} := A - x \cdot p_{d.1.fi} = 0 \xrightarrow{\text{solve}, x} 7.9226545647968198687 \cdot m$$

$$M_{d.max.fi} := A \cdot x_{m.max} - p_{d.1.fi} \cdot x_{m.max} \cdot \frac{x_{m.max}}{2} = 608.6 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{d.harja.fi} := A \cdot l_{ap.0.v} - p_{d.1.fi} \cdot l_{ap.0.v} \cdot \frac{l_{ap.0.v}}{2} = 465.1 \text{ kN} \cdot m$$

$$V_{d.harja.fi} := B - p_{d.2.fi} \cdot l_{ap.0.o} = 74.612 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad b_{eff.fi} := k_{cr} \cdot b_{fi} = 159 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys harjalla:

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.harja.fi}}{b_{eff.fi} \cdot h_{2.fi}} = 0.495 \frac{N}{mm^2}$$

Lasketaan poikittainen vetojännitys harjan kohdalla:

$$\sigma_{t.90.d.fi} := k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{d.harja.fi}}{b_{fi} \cdot h_{2.fi}^2} = 0.087 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} \leq 1.0 = 1$$

$$ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} + \frac{\sigma_{t.90.d.fi}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t.90.d.fi}} = 33.815\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$\sigma_{m.max.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.524 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{d.fi} := \sigma_{m.max.fi} \cdot \tan(\alpha) = 0.526 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_{d.fi} \leq k_{cr} \cdot f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.fi}} = 13.073\%$$

Leikkausjännitys tuella (vasen):

$$V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0}{2} = 118.699 \text{ kN}$$

$$V_{red.fi} := V_{d.fi} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_{1.fi} + b_{l.v.fi}}{L_0} \right) = 98.686 \text{ kN}$$

$$x_{m.2.fi} := \frac{b_{l.v.fi}}{20} = 0.024 \text{ m} \quad h_{m.2.fi} := h_{1.fi} + x_{m.2.fi} = 1146 \text{ mm}$$

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.2.fi}} = 0.812 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \tau_{d.fi} \leq f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} = 20.18\%$$

Leikkausjännitys tuella (oikea):

$$V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0}{2} = 118.699 \text{ kN}$$

$$V_{red.fi} := V_{d.fi} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h_{1.fi} + b_{l.o.fi}}{L_0} \right) = 99.346 \text{ kN}$$

$$x_{m.2.fi} := \frac{b_{l.o.fi}}{20} = 0.02 \text{ m} \quad h_{m.2.fi} := h_{1.fi} + x_{m.2.fi} = 1142 \text{ mm}$$

$$\tau_{d.fi} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.2.fi}} = 0.821 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto:} \quad \tau_{d.fi} \leq f_{v.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\tau_{d.fi}}{f_{v.d.fi}} = 20.395\%$$

Tukipainekestävyys (vasen):

$$\text{Palkin tukireaktio:} \quad V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L}{2} + p_{d.fi} \cdot l_{r.v} = 134.068 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.v.fi} = 484 \text{ mm} \quad l_{c.90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 514 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c,90.ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.593$$

$$\sigma_{c,90.d.fi} := \frac{V_{d.fi}}{b_{fi} \cdot l} = 1.742 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c,90.d.fi} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c,90.d.fi}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c,90.d.fi}} = 38.04\%$$

Tukipainekestävyys (oikea):

$$\text{Tukivoima LP5 palkilta: } F_{d.fi} := 53.47 \text{ kN}$$

$$\text{Palkin tukireaktio: } V_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L}{2} + F_{d.fi} = 175.8 \text{ kN}$$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l.o.fi} = 394 \text{ mm} \quad l_{c,90.ef} := l + 30 \text{ mm} = 424 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c,90.ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.614$$

$$\sigma_{c,90.d.fi} := \frac{V_{d.fi}}{b_{fi} \cdot l} = 2.806 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{c,90.d.fi} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c,90.d.fi}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c,90.d.fi}} = 60.468\%$$

Kiepahduskestävyys:

$$\text{Kiepahdustuentaväli: } a := 2500 \text{ mm}$$

$$\text{Tehollinen kiepahdustuentaväli: } l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$$

$$c := 0.7 \quad (\text{liimapuu GL30c})$$

Taivutusmomentti mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$M_{d.fi} := \frac{p_{d.fi} \cdot L_0 \cdot x_{m.fi}}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_{m.fi}}{L_0}\right) = 469 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusjännitys mitoittavan poikkileikkauksen kohdassa:

$$\sigma_{m.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.fi}}{b_{fi} \cdot h_{m.fi}^2} = 10.524 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit.fi} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{m.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05.fi} = 67.827 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit.fi}}} = 0.665$

$$k_{crit} := 1, \text{ kun } \lambda_{rel.m} \leq 0.75$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d.fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d.fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} = 30.505\%$

Liite 10. Tasakorkea palkki: LP5

Tasakorkea palkki: LP5

Liimapuun lujuusluokka: GL30c	$\gamma_M := 1.25$
Käyttöluokka: 1	
Seuraamusluokka: CC2	$K_{FI} := 1.0$
Palonkestoaika: R30	
Kuorman aikaluokka: keskipitkä	$k_{mod} := 0.8$

Liimapuun materiaallijuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$
Tiheys:	$\rho_{mean} := 430 \frac{kg}{m^3}$	$g_\rho := \rho_{mean} \cdot g = 4.217 \frac{kN}{m^3}$

Palkin mitat:

$h := 630 \text{ mm}$	$b := 215 \text{ mm}$
Palkin pituus:	$L := 7.6 \text{ m}$
Tuen pituus:	$b_{l.v} := 200 \text{ mm}$ $b_{l.o} := 500 \text{ mm}$
Palkin jänneväli:	$L_0 := L - \frac{b_{l.v} + b_{l.o}}{2} = 7.25 \text{ m}$
Räystäspituus (oikealle):	$l_{ro} := 800 \text{ mm}$

Kuormat:

Lumikuorma: $q_{k.1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$

Omapaino: Kattorakenne + ripustus: $g_{k.2} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Liimapuu: $g_{k.1} := h \cdot b \cdot g_{\rho} = 0.571 \frac{kN}{m}$

Pääkannatimien k-jako: $s := 9 \text{ m}$

2-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.00$

KRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.k} := g_{k.2} \cdot s \cdot k + g_{k.1} = 6.871 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.k} := q_{k.1} \cdot s \cdot k = 18 \frac{kN}{m}$

MRT: Yläpohjan omapaino: $p_{g.d} := 1.15 \cdot p_{g.k} = 7.902 \frac{kN}{m}$

Lumikuorma: $p_{q.d} := 1.5 \cdot p_{q.k} = 27 \frac{kN}{m}$

$p_d := 1.15 \cdot p_{g.k} + 1.5 \cdot p_{q.k} = 34.902 \frac{kN}{m}$

Mitoitus:**Taivutuskestävyys:**

$$M_{d.max} := \frac{p_d \cdot L_0^2}{8} = 229.316 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{m.d} := \frac{6 \cdot M_{d.max}}{b \cdot h^2} = 16.124 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} < f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{f_{m.d}} = 84\%$

Leikkauskestävyys:

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 126.519 \text{ kN}$$

$$k_{cr} := 1.0 \quad (\text{liimapuulle lämmitetyissä sisätiloissa})$$

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 215 \text{ mm}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 1.401 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d < f_{v,d} = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 62.549\%$$

Leikkauskestävyys maksimitaivutusjännityksen kohdalla:

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (4.48 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$S := \frac{b \cdot h^2}{8} = (1.067 \cdot 10^7) \text{ mm}^3$$

$$\tau_d := \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b} = (1.401 \cdot 10^6) \text{ Pa}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq k_{cr} \cdot f_{v,d} = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{k_{cr} \cdot f_{v,d}} = 62.549\%$$

Leikkausjännitys tuella (vasen):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 126.519 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h + b_{l,v}}{L_0}\right) = 101.041 \text{ kN}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h} = 1.119 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v,d} = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 49.953\%$$

Leikkausjännitys tuella (oikea):

$$V_d := \frac{p_d \cdot L_0}{2} = 126.519 \text{ kN}$$

$$V_{red} := V_d \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot h + b_{l,o}}{L_0}\right) = 95.806 \text{ kN}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{red}}{b \cdot h} = 1.061 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Mitoitusehto: } \tau_d \leq f_{v,d} = 1$$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 47.365\%$$

Tukipainekestävyys (vasen):

Palkin tukireaktio: $V_d := \frac{p_d \cdot L}{2} = 132.627 \text{ kN}$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l,v} = 200 \text{ mm} \quad l_{c,90,ef} := l + 30 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,90} := 1.75 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 2.013$$

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 3.084 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}} = 95.787\%$

Tukipainekestävyys (oikea):

Palkin tukireaktio: $V_d := \frac{p_d \cdot L}{2} + l_{ro} \cdot p_d = 160.549 \text{ kN}$

Tehollinen tukipinnan pituus:

$$l := b_{l,o} = 500 \text{ mm} \quad l_{c,90,ef} := l + 30 \text{ mm} = 530 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,90} := 1.5 \quad (\text{liimapuu})$$

$$k_{c,\perp} := \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = 1.59$$

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{V_d}{b \cdot l} = 1.493 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}} = 58.706\%$

Kiepahdusketävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 221.88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.368$

$k_{crit} := 1.00$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m.d} \leq k_{crit} \cdot f_{m.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} = 83.978\%$

Taipuma:

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (4.48 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvältä kuormasta:

$$w_{inst.G} := \frac{5 \cdot p_{q.k} \cdot L^4}{384 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 13.426 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta:

$$w_{inst.Q} := \frac{5 \cdot p_{g.k} \cdot L^4}{384 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 5.125 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)

Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.1} := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 27.222 \text{ mm}$$

Mitoitusehto: $w_{fin.sall} := \frac{L_0}{200} = 36.25 \text{ mm}$ $ka := \frac{w_{fin}}{w_{fin.sall}} = 75.094\%$

Palomitoitus R30:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen kuormat:

$$p_{d.fi} := p_{g.k} + 0.4 \cdot p_{q.k} = 14.071 \frac{kN}{m}$$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo kolmelta sivulta: $h_{fi} := h - d_{ef} = 602 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$$

Taivutusketävyys:

$$M_{d,max,fi} := \frac{p_{d,fi} \cdot L_0^2}{8} = 92.452 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{m,d,fi} := \frac{6 \cdot M_{d,max,fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 9.627 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d,fi} < f_{m,d,fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{m,d,fi}} = 27.9\%$

Kiepahdusketävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := 2500 \text{ mm}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := a = 2.5 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05,fi} = 146.042 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.453$

$k_{crit} := 1.00$,kun $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d,fi} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d,fi} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}} = 27.903\%$

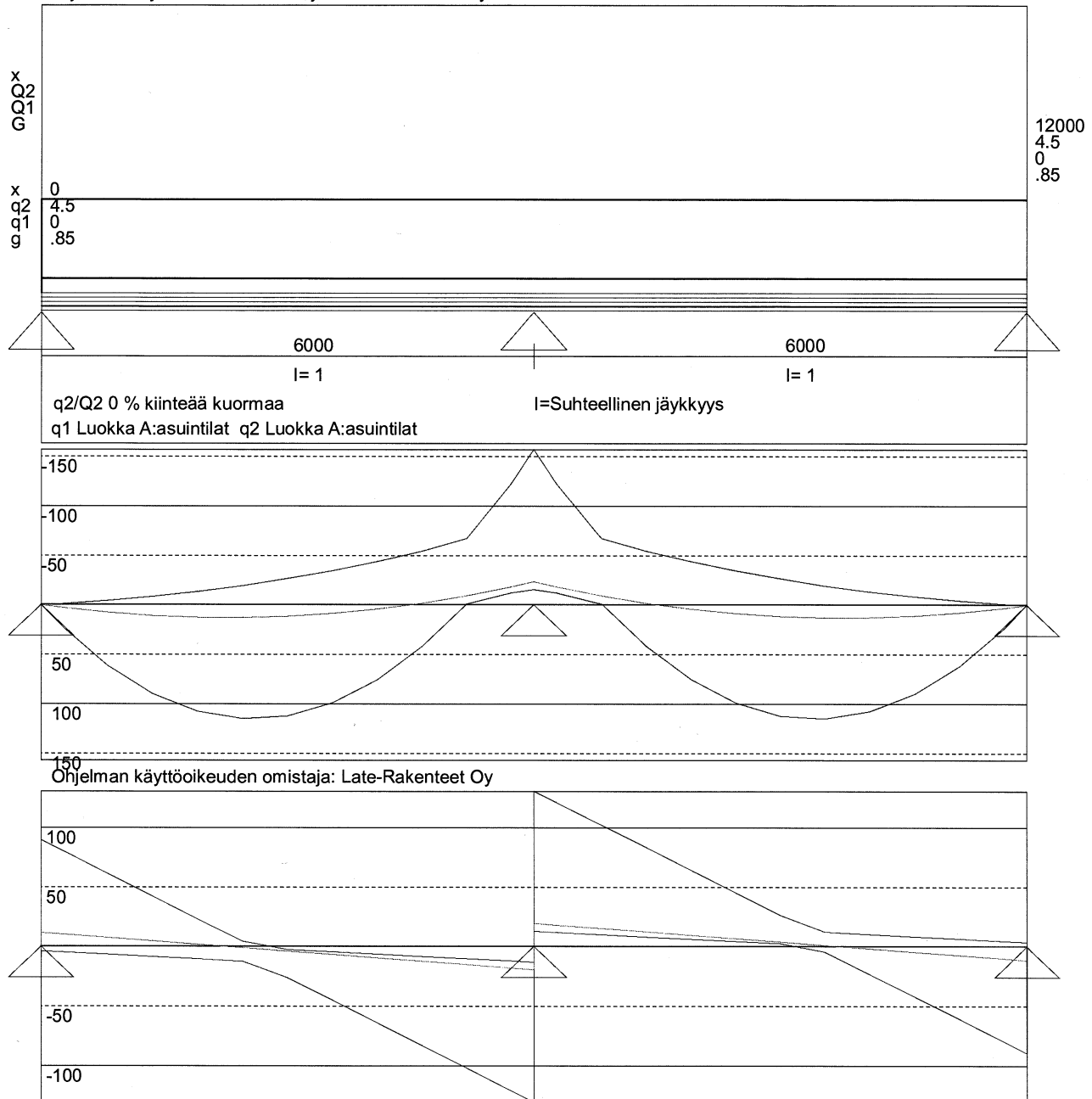
Liite 11. Kevyt päätypalkki: LP6

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP6

Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 4.5 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 89,554 260,962 89,575

Min tukivoimat [kN] -3,701 25,835 -3,699

GL30c 190 x 540 jako 4500 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 kh=1,01 kcr=1 Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 15,543 139,895 11 % Jännitys/lujuus N/mm2 1,68 / 15,15

Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 157,006 186,619 84 % Jännitys/lujuus N/mm2 17 / 20,21

Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 19,376 119,700 16 % Jännitys/lujuus N/mm2 0,28 / 1,75

Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 130,481 159,372 82 % Jännitys/lujuus N/mm2 1,9 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

8,2 (41%) 8,2 (41%)

10,0 (50%) 10,0 (50%)

Minimitukipinnat [mm] 128(98) / 400 / 128 (98)

Ominaistaajuudet Hz 7 / 7 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,1 / 0,1 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm)

1 kN / betonikansi (mm)

1 kN / villa-/betonikansi (mm)

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentavälit enintään

6000 / 6000 /

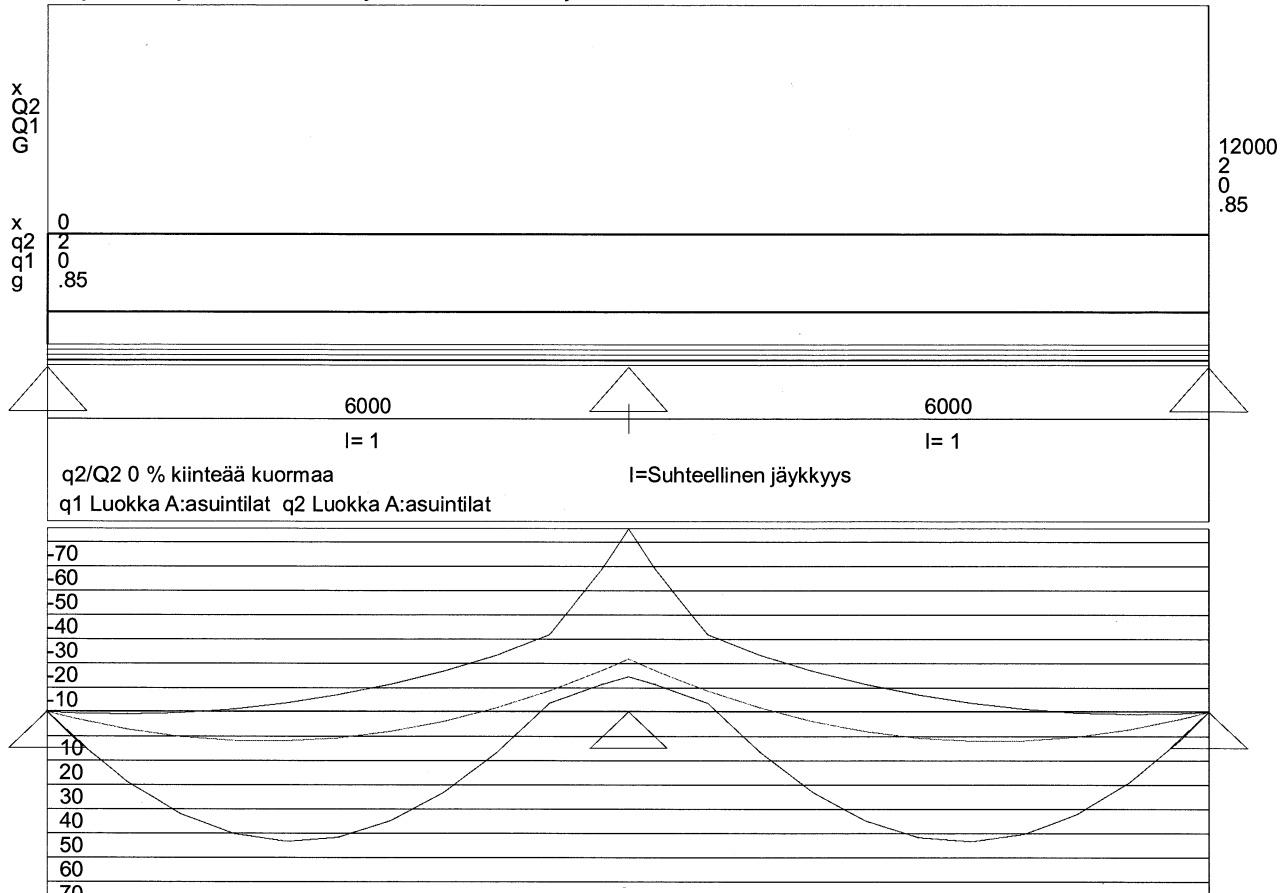
Liite 12. Kevyt päätypalkki: LP7

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP7A

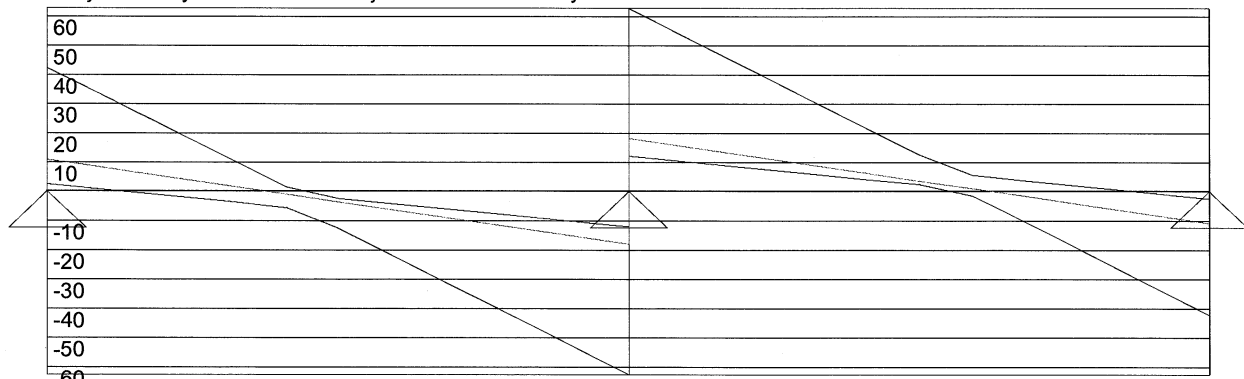
Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 4.2 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 42,272 125,368 42,282

Min tukivoimat [kN] 2,475 24,112 2,477

GL30c 165 x 450 jako 4200 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 kh=1,03 kcr=1 Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 14,507 85,926 17 % Jännitys/lujuus N/mm² 2,6 / 15,43
 Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 75,427 114,605 66 % Jännitys/lujuus N/mm² 13,54 / 20,58
 Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 18,084 86,625 21 % Jännitys/lujuus N/mm² 0,36 / 1,75
 Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 62,684 115,335 54 % Jännitys/lujuus N/mm² 1,26 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

7,6 (38%) 7,6 (38%)

9,6 (48%) 9,6 (48%)

Minimitukipinnat [mm] 56(29) / 194 / 56 (29)

Ominaistaajuudet Hz 7 / 7 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,2 / 0,2 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm)

1 kN / betonikansi (mm)

1 kN / villa-/betonikansi (mm)

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentavälit enintään

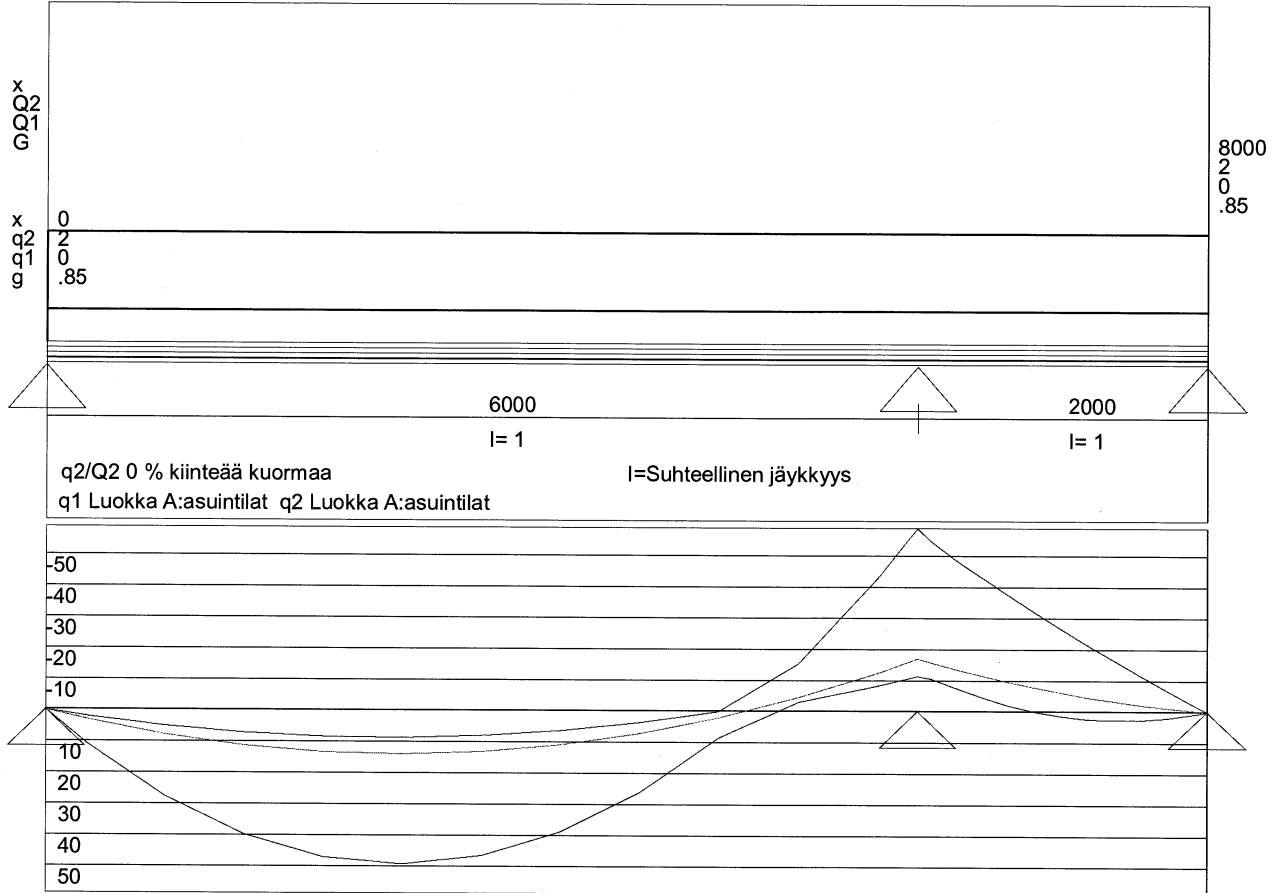
6000 / 6000 /

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP7B

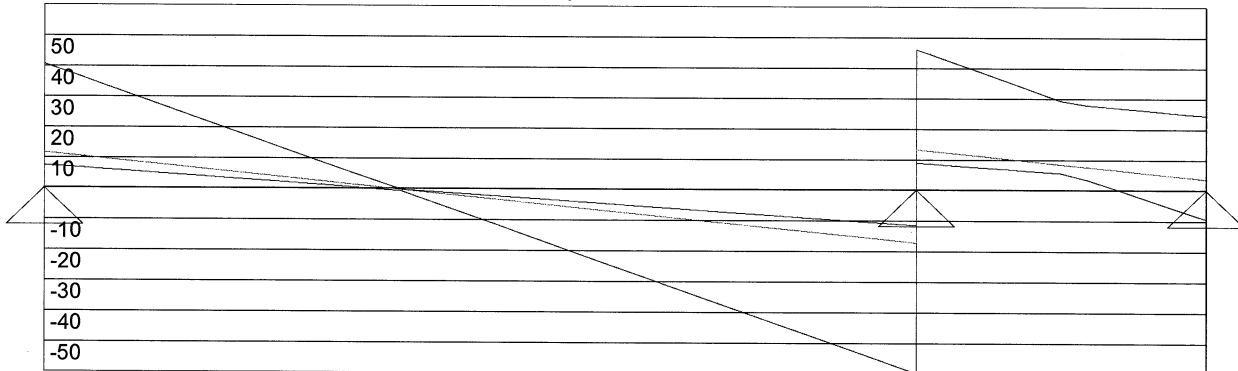
Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 4.2 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 40,588 105,938 9,378

Min tukivoimat [kN] 7,492 20,375 -24,451

GL30c 165 x 450 jako 4200 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 kh=1,03 kcr=1 Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 14,044 85,926 16 % Jännitys/lujuus N/mm² 2,52 / 15,43
 Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 58,685 114,605 51 % Jännitys/lujuus N/mm² 10,53 / 20,58
 Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 13,285 86,625 15 % Jännitys/lujuus N/mm² 0,26 / 1,75
 Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 59,889 115,335 52 % Jännitys/lujuus N/mm² 1,2 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

6,8 (34%) -0,1 (1%)

8,8 (44%) -0,1 (2%)

Minimitukipinnat [mm] 53(28) / 155 / 10 (7)

Ominastaajuudet Hz 7 / 64 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,2 / 0,0 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm) 0,00 /

1 kN / betonikansi (mm) 0,00 /

1 kN / villa-/betonikansi (mm) 0,00 /

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentavälit enintään

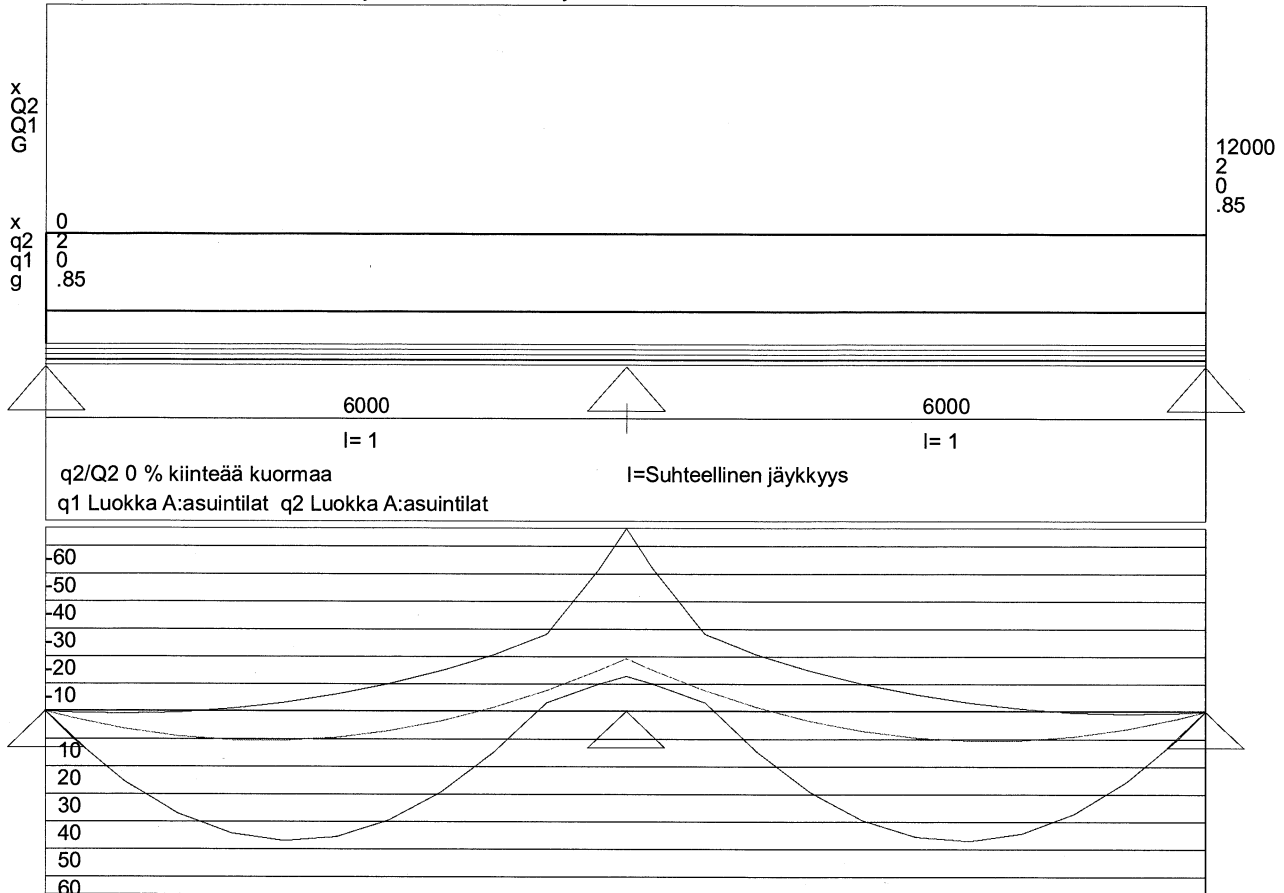
6000 / 2000 /

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP7C & D

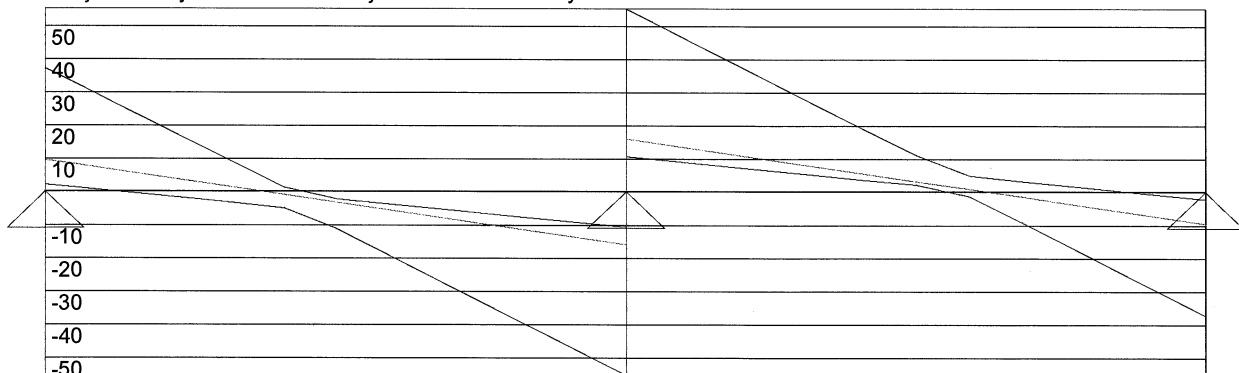
Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 3.7 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 37,240 110,443 37,249

Min tukivoimat [kN] 2,180 21,242 2,182

GL30c 165 x 450 jako 3700 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 kh=1,03 kcr=1 Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 12,780 85,926 15 % Jännitys/lujuus N/mm² 2,29 / 15,43
 Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 66,447 114,605 58 % Jännitys/lujuus N/mm² 11,93 / 20,58
 Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 15,931 86,625 18 % Jännitys/lujuus N/mm² 0,32 / 1,75
 Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 55,221 115,335 48 % Jännitys/lujuus N/mm² 1,11 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

6,7 (33%) 6,7 (33%)

8,4 (42%) 8,4 (42%)

Minimitukipinnat [mm] 46(26) / 165 / 46 (26)

Ominaistaajuudet Hz 7 / 7 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,2 / 0,2 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm)

1 kN / betonikansi (mm)

1 kN / villa-/betonikansi (mm)

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentävälit enintään

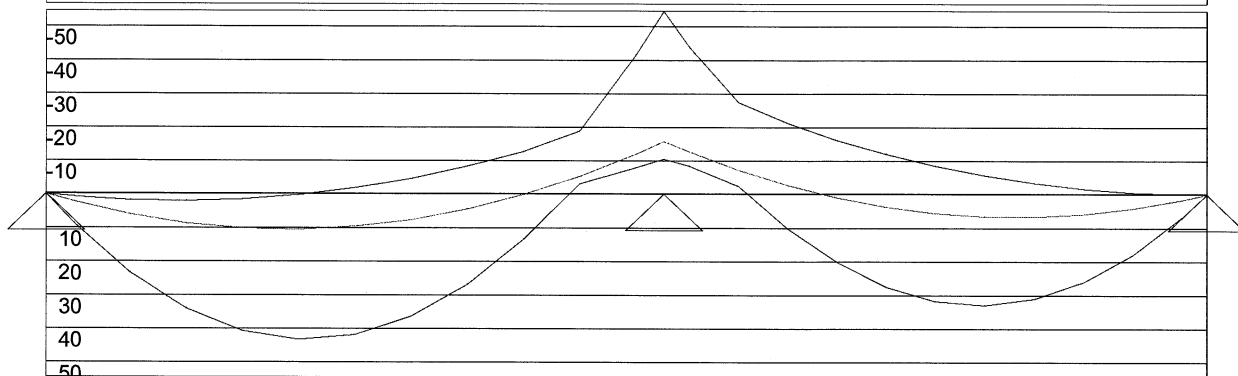
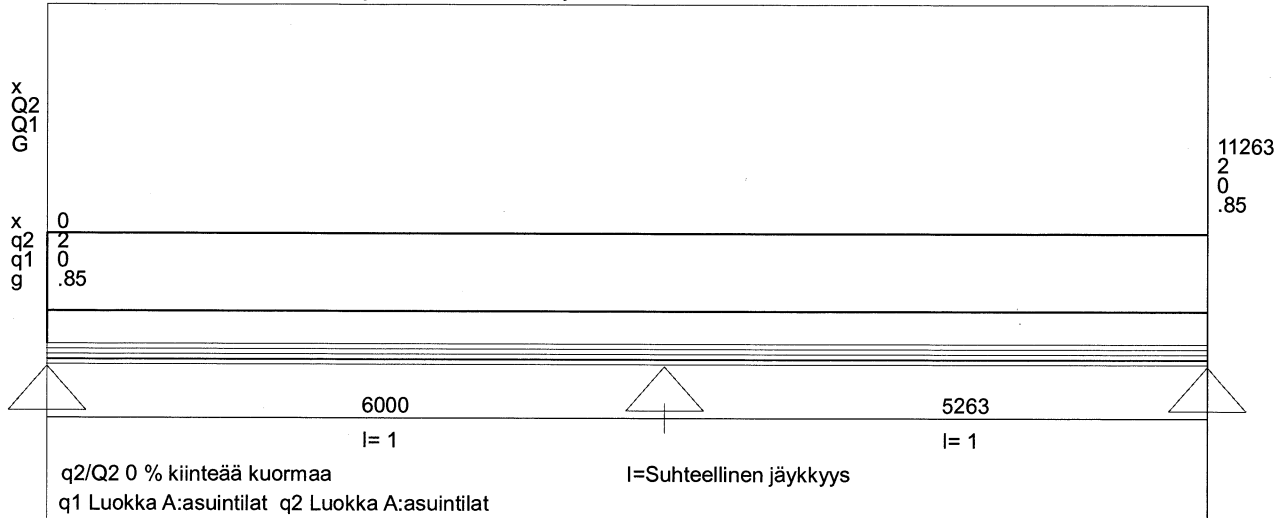
6000 / 6000 /

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP7E

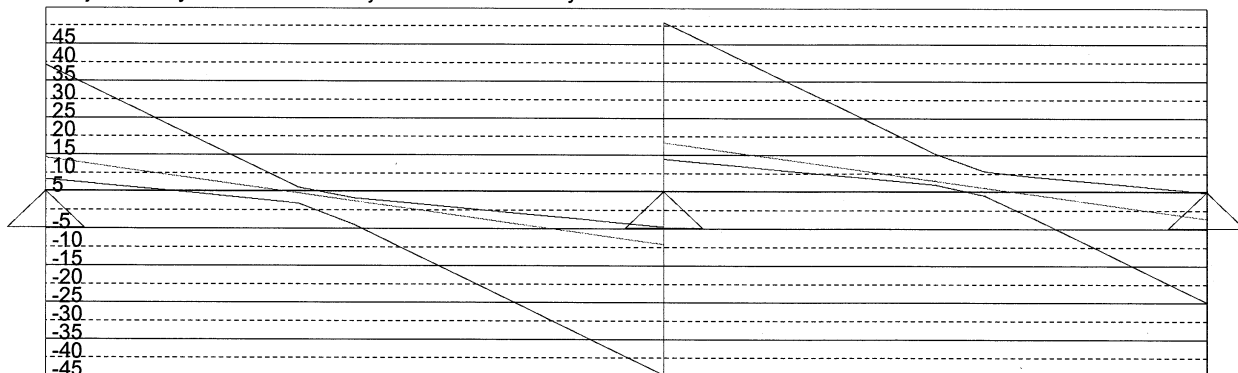
Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 3.4 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 34,239 95,584 29,894

Min tukivoimat [kN] 3,293 18,384 0,189

GL30c 165 x 450 jako 3400 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 kh=1,03 kcr=1 Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 10,543 85,926 12 % Jännitys/lujuus N/mm² 1,89 / 15,43Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 54,484 114,605 48 % Jännitys/lujuus N/mm² 9,78 / 20,58Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 13,253 86,625 15 % Jännitys/lujuus N/mm² 0,26 / 1,75Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 49,647 115,335 43 % Jännitys/lujuus N/mm² 1 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

6,2 (31%) 3,6 (20%)

7,9 (40%) 4,4 (25%)

Minimitukipinnat [mm] 40(24) / 134 / 31 (21)

Ominataajuudet Hz 7 / 10 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,2 / 0,1 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm) 0,03 /

1 kN / betonikansi (mm) 0,04 /

1 kN /villa-/betonikansi (mm) 0,04 /

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentävälit enintään

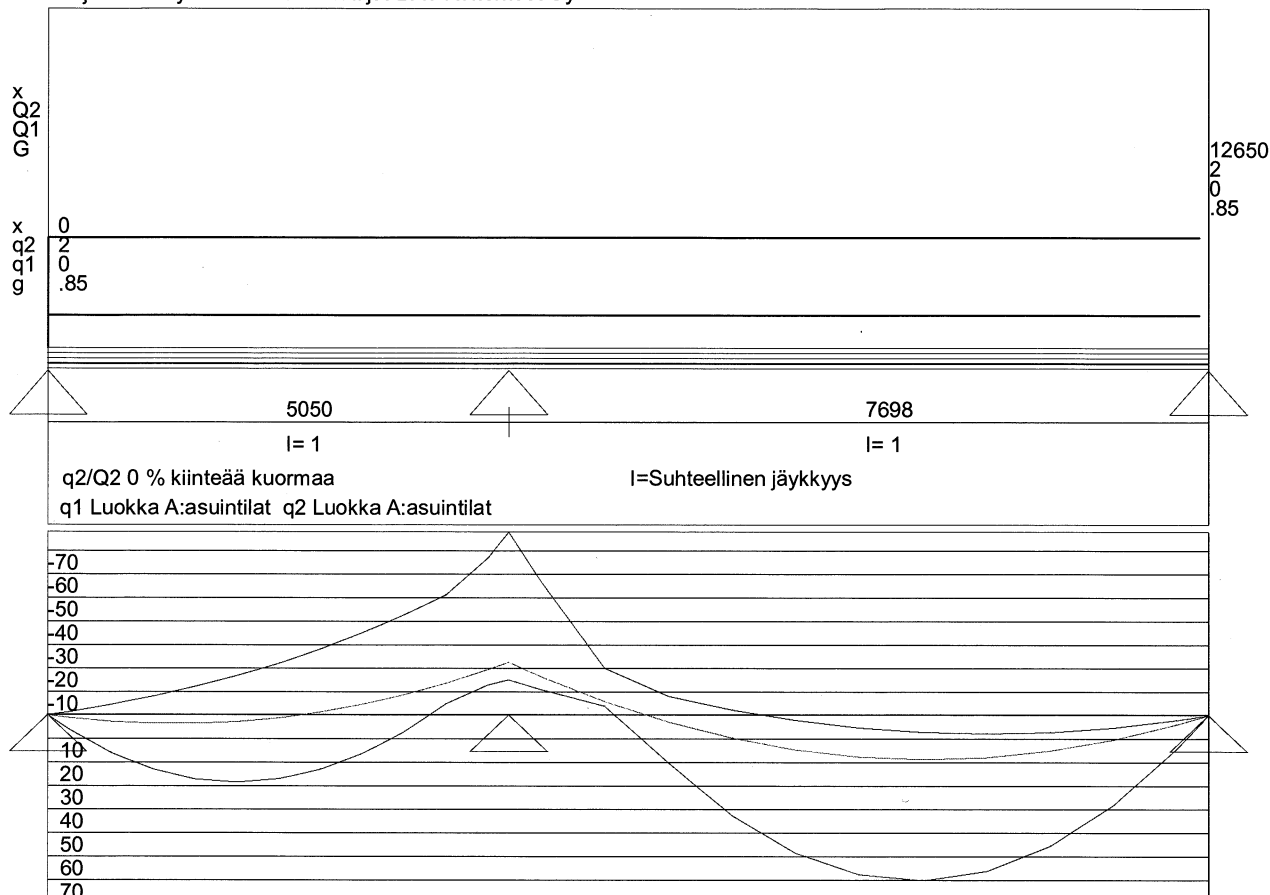
6000 / 5263 /

Palkin tunnus: Palkin tunnus: LP7F

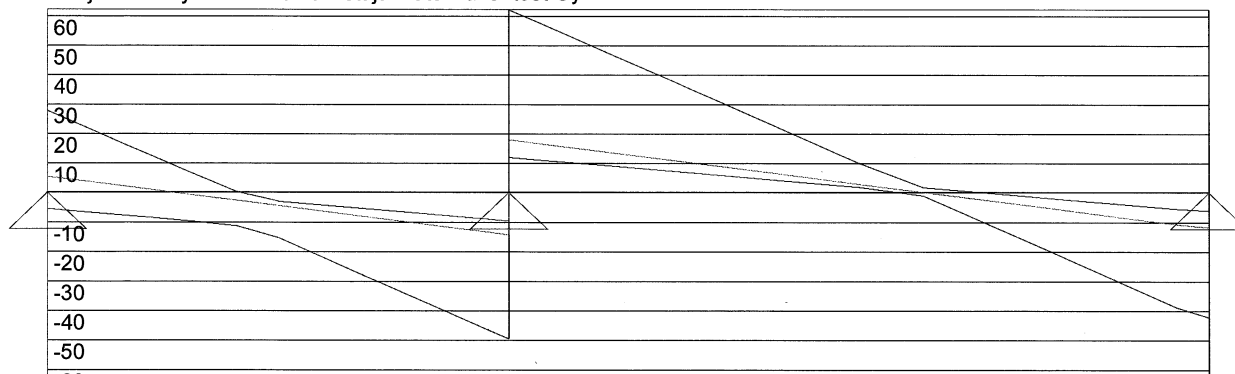
Pvm 04-05-2018

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Kaj Vorselman

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Late-Rakenteet Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Kuormitusleveys 3.4 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.

Max tukivoimat [kN] 27,791 111,701 42,302

Min tukivoimat [kN] -5,465 21,484 6,133

GL30c 165 x 450 jako 3400 CC2 RC2 Käyttöluokka 1 $kh=1,03$ $kcr=1$ Mitoitusnormi: Eurokoodi 5

Pysyvä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 18,746 85,926 22 % Jännitys/lujuus N/mm² 3,36 / 15,43
 Keskipitkä : Mmit/taiv kestävyys [kNm] 77,823 114,605 68 % Jännitys/lujuus N/mm² 13,97 / 20,58
 Pysyvä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 17,929 86,625 21 % Jännitys/lujuus N/mm² 0,36 / 1,75
 Keskipitkä : Vmit/leikk kestävyys [kN] 62,146 115,335 54 % Jännitys/lujuus N/mm² 1,25 / 2,33

Taipumat Winst/Wfin (mm) / prosenttia annetuista raja-arvoista (Sall taip L/300)

2,6 (15%) 16,6 (65%)

3,0 (18%) 21,4 (83%)

Minimitukipinnat [mm] 29(19) / 166 / 56 (29)

Ominastaajuudet Hz 11 / 4 /

1kN pistevoiman taipumat (mm) 0,1 / 0,4 /

1kN / puukansi, kapuloitu (mm) 0,03 /

1 kN / betonikansi (mm) 0,03 /

1 kN / villa-/betonikansi (mm) 0,04 /

Palkin puristetun reunan sivuttaistuentävälit enintään

5050 / 7698 /

Liite 13. Mastopilarikehä 1: P1

Mastopilarikehä 1: P1

Liimapuun lujuusluokka: GL30c

$\gamma_M := 1.25$

Käyttöluokka: 1

Seuraamusluokka: CC2

$K_{FI} := 1.0$

Palonkesto aika: R30

Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Pilari: $b := 215 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ $L := 5.3 \text{ m}$ Kattorakenteen korkeus: $l_{ko} := 2.7 \text{ m}$ $l_{kv} := 2.7 \text{ m}$ $H_{tot} := L + l_{ko} = 8 \text{ m}$ Räystäät: $l_r := 800 \text{ mm}$ Palkin pituus: $L_p := 24 \text{ m}$ Kehäjako: $s := 7.2 \text{ m}$ **Tarkasteltavat kuormitustapaukset:**

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

Lumikuorma katolla: $q_{k1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$

Katon omapaino + ripustus: $g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k1.b} := 1.496 \frac{kN}{m}$

Horisontaalikuormat:

Tuuli: $q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$

Tuuli (imu): $q_{k2.b} := 0.215 \frac{kN}{m^2}$

3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.10$

Rakenne:

$$N_{g.k1} := \frac{s \cdot k \cdot g_{k1.a} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r) + g_{k1.b} \cdot L_p}{2} = 88.915 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{gt.k} := \frac{N_{g.k1}}{150} = 0.593 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{g.k} := H_{gt.k} \cdot L = 3.142 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi:

$$N_{q.k1} := \frac{s \cdot k \cdot q_{k1} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r)}{2} = 202.752 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{qt.k} := \frac{N_{q.k1}}{150} = 1.352 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{q.k} := H_{qt.k} \cdot L = 7.164 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

Tuulikuorma: $W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 2.477 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Tuulikuorma (imu): $W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 1.548 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Katorakenteen tuulikuorma: $F_{1.k} := W_{1.k} \cdot l_{ko} = 6.687 \text{ kN}$

$$F_{2.k} := W_{2.k} \cdot l_{kv} = 4.18 \text{ kN}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti:

$$M_{w.k} := \left(\frac{W_{1.k} \cdot L^2 + W_{2.k} \cdot L^2}{2} + L \cdot (F_{1.k} + F_{2.k}) \right) \cdot 0.5 = 57.062 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima:

$$V_{w.k} := \frac{L \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k} + F_{2.k}}{2} = 16.099 \text{ kN}$$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$

$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$

$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k1} = 315.142 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k} = 26.25 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k} = 96.727 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pakkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.161 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 13.25 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 5.3 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (4.472 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 84.999$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 85.394$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.289$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.295$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.38$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.388$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.534 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.53 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 2.714 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 9.257 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 58.643\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 48.31\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 5.3 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 4.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 152.63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.443$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 36.06\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 215 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.339 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 11.011\%$$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.802 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{qt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 1.829 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2} \right) \cdot L^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2} \right) \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 12.764 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 1.283 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 12.764 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.658 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 14.705 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 27.571\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

Kuormat: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

$$N_{d.fi} := N_{g.k1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k1} = 129.466 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k} = 4.083 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k} = 15.987 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pakkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (7.696 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 13.25 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 5.3 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.502 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (1.621 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 45.899 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 94.833$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 115.47$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.438$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.751$$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 1.59$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 2.105$$

$$k_{c.y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.44 \quad k_{c.y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c.z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.305 \quad k_{c.z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 1.682 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 2.575 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 21.021\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 24.771\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 5.3 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 4.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 93.133 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.568$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 20.103\%$$

Liite 14. Mastopilarikehä 2: P2

Mastopilarikehä 2: P2

Liimapuun lujuusluokka: GL30c $\gamma_M := 1.25$
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 $K_{FI} := 1.0$
 Palonkesto aika: R30
 Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Pilari: $b := 190 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ $L := 5.345 \text{ m}$

Kattorakenteen korkeus: $l_{ko} := 2.655 \text{ m}$ $l_{kv} := 2.655 \text{ m}$ $H_{tot} := L + l_{ko} = 8 \text{ m}$

Räystäät: $l_r := 800 \text{ mm}$

Palkin pituus: $L_p := 20 \text{ m}$ Kehäjako: $s := 8.4 \text{ m}$

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

Lumikuorma katolla: $q_{k1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$

Katon omapaino + ripustus: $g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k1.b} := 1.318 \frac{kN}{m}$

Horisontaalikuormat:

Tuuli: $q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$

Tuuli (imu): $q_{k2.b} := 0.215 \frac{kN}{m^2}$

3-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.10$

Rakenne:

$$N_{g.k1} := \frac{s \cdot k \cdot g_{k1.a} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r) + g_{k1.b} \cdot L_p}{2} = 83.034 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{gt.k} := \frac{N_{g.k1}}{150} = 0.554 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{g.k} := H_{gt.k} \cdot L = 2.959 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi:

$$N_{q.k1} := \frac{s \cdot k \cdot q_{k1} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r)}{2} = 199.584 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{qt.k} := \frac{N_{q.k1}}{150} = 1.331 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{q.k} := H_{qt.k} \cdot L = 7.112 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

Tuulikuorma: $W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 2.89 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Tuulikuorma (imu): $W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 1.806 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Katorakenteen tuulikuorma: $F_{1.k} := W_{1.k} \cdot l_{ko} = 7.672 \text{ kN}$

$$F_{2.k} := W_{2.k} \cdot l_{kv} = 4.795 \text{ kN}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti:

$$M_{w.k} := \left(\frac{W_{1.k} \cdot L^2 + W_{2.k} \cdot L^2}{2} + L \cdot (F_{1.k} + F_{2.k}) \right) \cdot 0.5 = 66.855 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima:

$$V_{w.k} := \frac{L \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k} + F_{2.k}}{2} = 18.782 \text{ kN}$$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$

$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$

$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k1} = 305.053 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k} = 30.207 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k} = 111.152 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.026 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 13.363 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 5.345 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.493 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (3.087 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 54.848 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 85.72$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 97.451$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.3$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.477$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.394$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.65$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.526 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.419 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 2.973 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 12.037 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 71.797\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 64.814\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 5.345 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 4.276 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 118.195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.504$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 53.687\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 190 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.442 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 14.339\%$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.869 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{qt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 2.09 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2} \right) \cdot L^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2} \right) \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 17.18 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 1.391 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 17.18 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.713 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 19.283 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 36.156\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 134 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

Kuormat: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

$$N_{d.fi} := N_{g.k1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k1} = 122.951 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k} = 4.576 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k} = 17.752 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pakkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (6.486 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 13.363 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 5.345 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.266 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (9.705 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 38.682 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 95.639$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 138.176$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.45$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 2.095$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 1.609$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 2.784$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.434 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.217 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 1.896 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 3.393 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 25.348\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 37.954\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 5.345 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 4.276 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 65.592 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.676$

$k_{crit} := 1$,kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 32.036\%$$

Liite 15. Mastopilarikehä 3: P3, P4 & P5

Mastopilarikehä 3: P3, P4 & P5

Liimapuun lujuusluokka: GL30c

$\gamma_M := 1.25$

Käyttöluokka: 1

Seuraamusluokka: CC2

$K_{FI} := 1.0$

Palonkestoaika: R30

Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kehä on 2-laivainen, P3 ja P4 toimivat mastopilareina.Väli P3 - P4: $K_1 := 16.45 \text{ m}$ Väli P4 - P5: $K_2 := 7.55 \text{ m}$ Rakennuksen leveys: $B := K_1 + K_2 = 24 \text{ m}$ Kehäjako: $s := 9.0 \text{ m}$ Pilari P3: $b_1 := 215 \text{ mm}$ $h_1 := 540 \text{ mm}$ $L_1 := 4.6 \text{ m}$ Pilari P4: $b_2 := 215 \text{ mm}$ $h_2 := 450 \text{ mm}$ $L_2 := 5.0 \text{ m}$ Pilari P5: $b_3 := 215 \text{ mm}$ $h_3 := 540 \text{ mm}$ $L_3 := 5.2 \text{ m}$ Kattorakenteen korkeus: $l_{k.v} := 2.6 \text{ m}$ $l_{k.o} := 2.0 \text{ m}$ Rakennuksen korkeus (oikea): $H_{tot.v} := L_1 + l_{k.v} = 7.2 \text{ m}$ Rakennuksen korkeus (vasen): $H_{tot.o} := L_3 + l_{k.o} = 7.2 \text{ m}$ Räystää: $l_r := 800 \text{ mm}$ **Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.**

Mastopilarien P3 ja P5 jäykkyyden suhde:

$$\text{P3: } I_{y,1} := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad k_1 := \frac{I_{y,1}}{L_1^3} \cdot 100 = 2.8984 \text{ mm}$$

$$\text{P5: } I_{y,3} := \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad k_3 := \frac{I_{y,3}}{L_3^3} \cdot 100 = 2.0065 \text{ mm}$$

$$\Sigma k := k_1 + k_3 = 4.905 \text{ mm} \quad k_{1,m} := \frac{k_1}{\Sigma k} = 0.59 \quad k_{3,m} := \frac{k_3}{\Sigma k} = 0.41$$

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

$$\text{Lumikuorma katolla: } q_{k1} := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Katon omapaino + ripustus: } g_{k1,a} := 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Palkin omapaino: } g_{k1,b} := 1.172 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Horisontaalikuormat:

$$\text{Tuuli: } q_{k2,a} := 0.344 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Tuuli (imu): } q_{k2,b} := 0.215 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kuormat:

Omapaino:

$$\text{Pilarille P3: } N_{g,k,1} := \frac{s \cdot g_{k1,a} \cdot K_1 + g_{k1,b} \cdot K_1}{2} + s \cdot g_{k1,a} \cdot l_r = 66.497 \text{ kN}$$

$$\text{Pilarille P4: } N_{g,k,2} := \frac{s \cdot g_{k1,a} \cdot (K_1 + K_2) + g_{k1,b} \cdot (K_1 + K_2)}{2} = 89.664 \text{ kN}$$

$$\text{Pilarille P5: } N_{g,k,3} := \frac{s \cdot g_{k1,a} \cdot K_2 + g_{k1,b} \cdot K_2}{2} + s \cdot g_{k1,a} \cdot l_r = 33.247 \text{ kN}$$

$$\text{Lisävaakavoima: } H_{gt,k} := \frac{N_{g,k,1} + N_{g,k,2} + N_{g,k,3}}{150} = 1.263 \text{ kN}$$

Lisävaakavoiman aiheuttama momentti:

Pilarille P3: $M_{g.k.1} := H_{gt.k} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 3.432 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pilarille P5: $M_{g.k.3} := H_{gt.k} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 2.686 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumi:

Pilarille P3: $N_{q.k.1} := \frac{s \cdot q_{k1} \cdot K_1}{2} + s \cdot q_{k1} \cdot l_r = 162.45 \text{ kN}$

Pilarille P4: $N_{q.k.2} := \frac{s \cdot q_{k1} \cdot (K_1 + K_2)}{2} = 216 \text{ kN}$

Pilarille P5: $N_{q.k.3} := \frac{s \cdot q_{k1} \cdot K_2}{2} + s \cdot q_{k1} \cdot l_r = 82.35 \text{ kN}$

Lisävaakavoima: $H_{qt.k} := \frac{N_{q.k.1} + N_{q.k.2} + N_{q.k.3}}{150} = 3.072 \text{ kN}$

Lisävaakavoiman aiheuttama momentti:

Pilarille P3: $M_{q.k.1} := H_{qt.k} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 8.351 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pilarille P5: $M_{q.k.3} := H_{qt.k} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 6.535 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Tuuli:

Tuulikuorma: $W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 3.096 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Tuulikuorma (imu): $W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 1.935 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Katorakenteen tuulikuorma (oikea): $F_{1.k.o} := W_{1.k} \cdot l_{k.o} = 6.192 \text{ kN}$

$$F_{2.k.o} := W_{2.k} \cdot l_{k.o} = 3.87 \text{ kN}$$

Katorakenteen tuulikuorma (vasen): $F_{1.k.v} := W_{1.k} \cdot l_{k.v} = 8.05 \text{ kN}$

$$F_{2.k.v} := W_{2.k} \cdot l_{k.v} = 5.031 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma (oikea):

$$W_{\Sigma k.o} := \frac{W_{1.k} \cdot L_1 + W_{2.k} \cdot L_1}{2} + F_{1.k.o} + F_{2.k.o} = 21.633 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma (vasen):

$$W_{\Sigma k.v} := \frac{W_{1.k} \cdot L_3 + W_{2.k} \cdot L_3}{2} + F_{1.k.v} + F_{2.k.v} = 26.161 \text{ kN}$$

Käytetään suurempaa arvoa molemmille puolille.

Pilari P3:

$$M_{w.k.1} := W_{\Sigma k.o} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 58.805 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{w.k.1} := (L_1 \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{1.m} = 19.622 \text{ kN}$$

Pilari P5:

$$M_{w.k.3} := W_{\Sigma k.o} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 46.018 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{w.k.3} := (L_1 \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{3.m} = 13.583 \text{ kN}$$

KT1 100%op + 100% lumi

$$\psi_{0.Q} := 1.0$$

$$\psi_{0.W} := 0$$

Kuorman aikaluokka: keskipitkä

$$k_{mod} := 0.8$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 12.48 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.32 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.6 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

PILARI P4:**Kuormat:**

$$N_{d.2} := 1.15 \cdot N_{g.k.2} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.2} = 427.114 \text{ kN}$$

Puristus:

Poikileikkauksen pinta-ala: $A := b_2 \cdot h_2 = (9.675 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Puristusjännitys: $\sigma_{c.0.d} := \frac{N_{d.2}}{A} = 4.415 \frac{N}{mm^2}$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.0.d} \leq f_{c.0.d} = 1$ $ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{f_{c.0.d}} = 28.154\%$

Nurjahduskestävyys:

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L_2 = 12.5 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L_2 = 5 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = (1.633 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 129.904 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_2 \cdot b_2^3}{12} = (3.727 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 96.225$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 80.561$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.459$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.221$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.622$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.292$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.429 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.584 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0,d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0,d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0,d}} = 65.633\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0,d}} = 48.23\%$$

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

PILARI P3:**Kuormat:**

$$N_{d.1} := 1.15 \cdot N_{g.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.1} = 247.044 \text{ kN}$$

$$V_{d.1} := 1.15 \cdot H_{gt.k} \cdot k_{1.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{1.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k.1} = 32.197 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.1} := 1.15 \cdot M_{g.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k.1} = 100.923 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b_1 \cdot h_1 = (1.161 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L_1 = 11.5 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L_1 = 4.6 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} = (4.472 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 73.773$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 74.116$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.118$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.124$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.166$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.172$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.668 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.663 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_{d,1}}{A} = 2.128 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max,1}}{b_1 \cdot h_1^2} = 9.659 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 51.364\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 40.486\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L_1 = 4.6 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L_1 = 3.68 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_1^2}{h_1 \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 175.856 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.413$

$k_{crit} := 1.00$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 28.262\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b_1 = 215 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.1}}{b_{ef} \cdot h_1} = 0.416 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 13.506\%$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{1.m} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.66 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{1.m} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 1.606 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{((W_{1.k} + W_{2.k}) \cdot k_{1.m}) \cdot L_1^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{((F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{1.m}) \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 9.797 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 1.056 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 9.797 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.541 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 11.394 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot.v}}{150} = 48 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 23.738\%$$

PILARI P5:**Kuormat:**

$$N_{d.3} := 1.15 \cdot N_{g.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.3} = 124.701 \text{ kN}$$

$$V_{d.3} := 1.15 \cdot H_{gt.k} \cdot k_{3.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{gt.k} \cdot k_{3.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k.3} = 22.288 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.3} := 1.15 \cdot M_{g.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k.3} = 78.977 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b_3 \cdot h_3 = (1.161 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L_3 = 13 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L_3 = 5.2 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_3 \cdot b_3^3}{12} = (4.472 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 83.395$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 83.783$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.264$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.27$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrästä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.347$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.355$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.551 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.547 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_{d,3}}{A} = 1.074 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max,3}}{b_3 \cdot h_3^2} = 7.558 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 37.665\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 29.146\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L_3 = 5.2 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L_3 = 4.16 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_3^2}{h_3 \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 155.565 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.439$

$k_{crit} := 1.00$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 17.302\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b_3 = 215 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d.3}}{b_{ef} \cdot h_3} = 0.288 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 9.349\%$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{3.m} \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.66 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{3.m} \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 1.606 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{((W_{1.k} + W_{2.k}) \cdot k_{3.m}) \cdot L_3^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{((F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{3.m}) \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 10.389 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 1.056 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 10.389 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.541 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 11.986 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot.v}}{150} = 48 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 24.971\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

KT4 100%op + 40% lumiLumi: $\psi_{2.Q} := 0.4$ **Kuormat:**

$$N_{d.2.fi} := N_{g.k.2} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k.2} = 176.064 \text{ kN}$$

PILARI P4:**Poikkileikkaus:**

Palo neljältä sivulta: $h_{2.fi} := h_2 - 2 \cdot d_{ef} = 394 \text{ mm}$

$$b_{2.fi} := b_2 - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$$

Puristus:

Poikkileikkauksen pinta-ala: $A_{fi} := b_{2.fi} \cdot h_{2.fi} = (6.265 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Puristusjännitys: $\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.2.fi}}{A_{fi}} = 2.81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto: $\sigma_{c.0.d.fi} \leq f_{c.0.d.fi} = 1 \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{f_{c.0.d.fi}} = 9.975\%$

Nurjahduskestävyys:

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L_2 = 12.5 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L_2 = 5 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{2.fi} \cdot h_{2.fi}^3}{12} = (8.104 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 113.738 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{2.fi} \cdot b_{2.fi}^3}{12} = (1.32 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 45.899 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku: $\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 109.902$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 108.934$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.666$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.652$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 1.956$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 1.931$$

$$k_{c.y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.335 \quad k_{c.y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c.z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.341 \quad k_{c.z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 29.743\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 29.253\%$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

PILARI P3: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

Poikkileikkaus:

Palo neljältä sivulta: $h_{1.fi} := h_1 - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$b_{1.fi} := b_1 - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$

Kuormat:

$N_{d.1.fi} := N_{g.k.1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k.1} = 98.987 \text{ kN}$

$V_{d.1.fi} := H_{gt.k} \cdot k_{1.m} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{1.m} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k.1} = 5.034 \text{ kN}$

$M_{d.max.1.fi} := M_{g.k.1} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k.1} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k.1} = 16.864 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{1.fi} \cdot h_{1.fi} = (7.696 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L_1 = 11.5 \text{ m}$

$L_{c.y} := 1.0 \cdot L_1 = 4.6 \text{ m}$

$I_y := \frac{b_{1.fi} \cdot h_{1.fi}^3}{12} = (1.502 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$ $i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$

$I_z := \frac{h_{1.fi} \cdot b_{1.fi}^3}{12} = (1.621 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$ $i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 45.899 \text{ mm}$

Hoikkuusluku: $\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 82.308$

$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 100.219$

Muunnettu hoikkuusluku: $\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.248$

$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.519$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2) = 1.326 \quad k_m := 0.7$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2) = 1.715$$

$$k_{c.y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.564 \quad k_{c.y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c.z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.398 \quad k_{c.z} \leq 1 = 1$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.1.fi}}{A_{fi}} = 1.286 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.1.fi}}{b_{1.fi} \cdot h_{1.fi}^2} = 2.717 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 15.974\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 16.976\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L_1 = 4.6 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L_1 = 3.68 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{1.fi}^2}{h_{1.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 107.306 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.529$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 12.085\%$$

PILARI P5:**Poikkileikkaus:**

Palo neljältä sivulta: $h_{3.fi} := h_3 - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{3.fi} := b_3 - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$$

Kuormat:

$$N_{d.3.fi} := N_{g.k.3} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k.3} = 49.717 \text{ kN}$$

$$V_{d.3.fi} := H_{gt.k} \cdot k_{3.m} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{3.m} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k.3} = 3.484 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.3.fi} := M_{g.k.3} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k.3} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k.3} = 13.196 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{3.fi} \cdot h_{3.fi} = (7.696 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L_3 = 13 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L_3 = 5.2 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{3.fi} \cdot h_{3.fi}^3}{12} = (1.502 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{3.fi} \cdot b_{3.fi}^3}{12} = (1.621 \cdot 10^8) \text{ mm}^4 \quad i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 45.899 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 93.044$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 113.291$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.411$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.718$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2) = 1.55 \quad k_m := 0.7$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2.046$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.456 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.317 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.3.fi}}{A_{fi}} = 0.646 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.3.fi}}{b_{3.fi} \cdot h_{3.fi}^2} = 2.126 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 11.192\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 11.553\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L_3 = 5.2 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L_3 = 4.16 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{3.fi}^2}{h_{3.fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 94.924 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.562$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 7.62\%$$

Liite 16. Mastopilarikehä 4: P11

Mastopilarikehäkehä 4: P11

Liimapuun lujuusluokka: GL30c $\gamma_M := 1.25$
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 $K_{FI} := 1.0$
 Palonkesto aika: R30
 Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Pilari: $b := 265 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ $L := 4.4 \text{ m}$

Kattorakenteen korkeus: $l_{ko} := 2.8 \text{ m}$ $l_{kv} := 2.8 \text{ m}$ $H_{tot} := L + l_{ko} = 7.2 \text{ m}$

Räystäät: $l_r := 800 \text{ mm}$

Palkin pituus: $L_p := 24 \text{ m}$ Kehäjako: $s := 9 \text{ m}$

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

Lumikuorma katolla: $q_{k1} := 2.1 \frac{kN}{m^2}$

Katon omapaino + ripustus: $g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k1.b} := 1.9 \frac{kN}{m}$

Horisontaalikuormat:

Tuuli: $q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$

Tuuli (imu): $q_{k2.b} := 0.215 \frac{kN}{m^2}$

2-aukkoisten kattoelementtien jatkuvuuden huomioiva kerroin: $k := 1.15$

Rakenne:

$$N_{g.k1} := \frac{s \cdot k \cdot g_{k1.a} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r) + g_{k1.b} \cdot L_p}{2} = 115.536 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{gt.k} := \frac{N_{g.k1}}{150} = 0.77 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{g.k} := H_{gt.k} \cdot L = 3.389 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi:

$$N_{q.k1} := \frac{s \cdot k \cdot q_{k1} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r)}{2} = 278.208 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{qt.k} := \frac{N_{q.k1}}{150} = 1.855 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{q.k} := H_{qt.k} \cdot L = 8.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

Tuulikuorma: $W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 3.096 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Tuulikuorma (imu): $W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 1.935 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Katorakenteen tuulikuorma: $F_{1.k} := W_{1.k} \cdot l_{ko} = 8.669 \text{ kN}$

$$F_{2.k} := W_{2.k} \cdot l_{kv} = 5.418 \text{ kN}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti:

$$M_{w.k} := \left(\frac{W_{1.k} \cdot L^2 + W_{2.k} \cdot L^2}{2} + L \cdot (F_{1.k} + F_{2.k}) \right) \cdot 0.5 = 55.341 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima:

$$V_{w.k} := \frac{L \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k} + F_{2.k}}{2} = 18.112 \text{ kN}$$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k1} = 424.985 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k} = 30.001 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k} = 95.478 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.431 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 11 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 4.4 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (3.477 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (8.374 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 76.499 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 70.565$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 57.517$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.07$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 0.872$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.111$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.909$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.709 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.859 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 2.97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 7.413 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 47.497\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 35.701\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 4.4 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 3.52 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 279.304 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.328$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 23.93\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 265 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.314 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 10.21\%$$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.484 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{qt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 1.165 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2} \right) \cdot L^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2} \right) \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 7.031 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.774 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 7.031 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.397 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 8.202 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot}}{150} = 48 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 17.088\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 209 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

Kuormat: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

$$N_{d.fi} := N_{g.k1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k1} = 171.178 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k} = 4.764 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k} = 16.089 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (1.012 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 11 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 4.4 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.975 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (3.682 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 60.333 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 78.73$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 72.928$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.194$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.106$$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 1.257$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 1.152$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.606 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.679 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 1.692 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 1.972 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 15.633\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 12.849\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 4.4 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 3.52 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 193.832 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.393$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 9.175\%$$

Liite 17. Nurkkapilari: P6

Nurkkapilari: P6

Liimapuun lujuusluokka: GL30c

$\gamma_M := 1.25$

Käyttöluokka: 1

Seuraamusluokka: CC2

$K_{FI} := 1.0$

Palonkesto aika: R30

Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Pilari: $b := 165 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ $L := 6.65 \text{ m}$

Kattorakenteen korkeus: $l_{ko} := 1.35 \text{ m}$ $l_{kv} := 1.35 \text{ m}$ $H_{tot} := L + l_{ko} = 8 \text{ m}$

Räystäät: $l_r := 800 \text{ mm}$

Pilarijako: $L_p := 6 \text{ m}$ Kehäjako: $s := 4.5 \text{ m}$

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

Lumikuorma katolla: $q_{k1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$

Katon omapaino + ripustus: $g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k1.b} := 0.376 \frac{kN}{m}$

Horisontaalikuormat:

Tuuli: $q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$

Tuuli (imu): $q_{k2.b} := 0.215 \frac{kN}{m^2}$

Rakenne:

$$N_{g.k1} := \frac{s \cdot g_{k1.a} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r) + g_{k1.b} \cdot L_p}{2} = 13.098 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{gt.k} := \frac{N_{g.k1}}{150} = 0.087 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{g.k} := H_{gt.k} \cdot L = 0.581 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi:

$$N_{q.k1} := \frac{s \cdot q_{k1} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r)}{2} = 34.2 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{qt.k} := \frac{N_{q.k1}}{150} = 0.228 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{q.k} := H_{qt.k} \cdot L = 1.516 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

$$\text{Tuulikuorma:} \quad W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 1.548 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Tuulikuorma (imu):} \quad W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 0.968 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Katorakenteen tuulikuorma:} \quad F_{1.k} := W_{1.k} \cdot l_{ko} = 2.09 \text{ kN}$$

$$F_{2.k} := W_{2.k} \cdot l_{kv} = 1.306 \text{ kN}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti:

$$M_{w.k} := \left(\frac{W_{1.k} \cdot L^2 + W_{2.k} \cdot L^2}{2} + L \cdot (F_{1.k} + F_{2.k}) \right) \cdot 0.5 = 39.102 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima:

$$V_{w.k} := \frac{L \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k} + F_{2.k}}{2} = 10.062 \text{ kN}$$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k1} = 50.973 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k} = 15.433 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k} = 60.913 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (8.91 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 16.625 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 6.65 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.165 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (2.021 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 47.631 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 106.649$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 139.614$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.617$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 2.117$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.873$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2.831$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.355 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.212 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 0.572 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 7.596 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 36.251\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 32.641\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.65 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.32 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 71.645 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.647$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 20.779\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 165 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 8.435\%$$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.304 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{qt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.794 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2} \right) \cdot L^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2} \right) \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 16.837 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.487 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 16.837 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.249 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 17.573 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 32.949\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltymissyvyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 109 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

Kuormat: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

$$N_{d.fi} := N_{g.k1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k1} = 19.938 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k} = 2.145 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k} = 8.704 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (5.276 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 16.625 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 6.65 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.03 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (5.223 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 31.466 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 118.989$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 211.342$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.804$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 3.204$$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 2.202$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 5.778$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.289 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.094 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 0.378 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 2.045 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 10.577\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 18.351\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.65 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.32 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 34.883 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.927$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 0.864 \quad , \text{ kun } 0.75 < \lambda_{rel.m} \leq 1.4$$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 14.671\%$$

Liite 18. Tasoerokohdan pilari: P7

Tasoerokohdan pilari: P7

Liimapuun lujuusluokka: GL30c

$\gamma_M := 1.25$

Käyttöluokka: 1

Seuraamusluokka: CC2

$K_{FI} := 1.0$

Palonkesto aika: R30

Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Pilari: $b := 215 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ $L := 6.65 \text{ m}$

Kattorakenteen korkeus: $l_{ko} := 1.35 \text{ m}$ $l_{kv} := 1.35 \text{ m}$ $H_{tot} := L + l_{ko} = 8 \text{ m}$

Räystäät: $l_r := 800 \text{ mm}$

Pilarijako: $L_p := 6 \text{ m}$ Kehäjakso: $s := 8.2 \text{ m}$

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)

KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)

KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)

KT4: oma + X% lumi, PALO

KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormat:

Vertikaalikuormat:

Lumikuorma katolla: $q_{k1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$

Katon omapaino + ripustus: $g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$

Palkin omapaino: $g_{k1.b} := 0.376 \frac{kN}{m}$

Horisontaalikuormat:

Tuuli: $q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$

Tuuli (imu): $q_{k2.b} := 0.215 \frac{kN}{m^2}$

Rakenne:

$$N_{g.k1} := \frac{s \cdot g_{k1.a} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r) + g_{k1.b} \cdot L_p}{2} = 22.94 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{gt.k} := \frac{N_{g.k1}}{150} = 0.153 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{g.k} := H_{gt.k} \cdot L = 1.017 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lumi:

$$N_{q.k1} := \frac{s \cdot q_{k1} \cdot (L_p + 2 \cdot l_r)}{2} = 62.32 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_{qt.k} := \frac{N_{q.k1}}{150} = 0.415 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad M_{q.k} := H_{qt.k} \cdot L = 2.763 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

$$\text{Tuulikuorma:} \quad W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 2.821 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Tuulikuorma (imu):} \quad W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 1.763 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Katorakenteen tuulikuorma:} \quad F_{1.k} := W_{1.k} \cdot l_{ko} = 3.808 \text{ kN}$$

$$F_{2.k} := W_{2.k} \cdot l_{kv} = 2.38 \text{ kN}$$

Tuulikuorman aiheuttama momentti:

$$M_{w.k} := \left(\frac{W_{1.k} \cdot L^2 + W_{2.k} \cdot L^2}{2} + L \cdot (F_{1.k} + F_{2.k}) \right) \cdot 0.5 = 71.252 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuulen aiheuttama leikkausvoima:

$$V_{w.k} := \frac{L \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k} + F_{2.k}}{2} = 18.335 \text{ kN}$$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$

$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$

$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k1} = 91.817 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k} = 28.115 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k} = 110.949 \text{ kN} \cdot m$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.161 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 16.625 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 6.65 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.821 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (4.472 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 62.065 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 106.649$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 107.145$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.617$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.624$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.873$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.886$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.355 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.352 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 0.791 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 10.618 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 50.559\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 38.583\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.65 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.32 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 121.645 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.497$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 26.605\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 215 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.363 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 11.794\%$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 0.409 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{qt.k} \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 1.11 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{\left(\frac{W_{1.k} + W_{2.k}}{2} \right) \cdot L^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{\left(\frac{F_{1.k} + F_{2.k}}{2} \right) \cdot L^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 23.546 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 0.654 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 23.546 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.Q} = 0.335 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 24.535 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 46.003\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

Kuormat: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

$$N_{d.fi} := N_{g.k1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k1} = 35.404 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k} = 3.903 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k} + 1.5 \cdot \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k} = 16.096 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (7.696 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 16.625 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 6.65 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.502 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (1.621 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 45.899 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 118.989$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 144.882$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.804$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 2.197$$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2 \right) = 2.202$$

$$k_z := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 3.007$$

$$k_{c.y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} = 0.289 \quad k_{c.y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c.z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.198 \quad k_{c.z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 0.46 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 2.593 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 13.175\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 13.525\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.65 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.32 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 74.227 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.636$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 8.829\%$$

Liite 19. Päädyn mastopilarit: P8, P9 & P10

Päädyn mastopilarit: P8, P9 & P10

Liimapuun lujuusluokka: GL30c $\gamma_M := 1.25$
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 $K_{FI} := 1.0$
 Palonkestoaika: R30
 Kuorman aikaluokka: keskipitkä / hetkellinen

Tarkasteltavat kuormitustapaukset:

KT1: oma + 100% lumi (keskipitkä)
 KT2: oma + X% lumi + 100% tuuli (hetkellinen)
 KT3: oma + 100% lumi + X% tuuli (hetkellinen)
 KT4: oma + X% lumi, PALO
 KT5: oma + X% lumi + X% tuuli, PALO

Kuormitusleveys: $K_1 := 4.2 \text{ m}$ $K_2 := 3.7 \text{ m}$ $K_3 := 3.4 \text{ m}$

Rakennuksen koko: $B_R := 24 \text{ m}$ $L_R := 80 \text{ m}$

Kehäjako: $s := 6.0 \text{ m}$

Pilari P8: $b_1 := 190 \text{ mm}$ $h_1 := 540 \text{ mm}$ $L_1 := 7.35 \text{ m}$

Pilari P9: $b_2 := 190 \text{ mm}$ $h_2 := 540 \text{ mm}$ $L_2 := 7.35 \text{ m}$

Pilari P10: $b_3 := 165 \text{ mm}$ $h_3 := 540 \text{ mm}$ $L_3 := 6.55 \text{ m}$

Kattorakenteen korkeus: $l_{k.v} := 0.65 \text{ m}$ $l_{k.o} := 1.45 \text{ m}$

Rakennuksen korkeus (oikea): $H_{tot.v} := L_1 + l_{k.v} = 8 \text{ m}$

Rakennuksen korkeus (vasen): $H_{tot.o} := L_3 + l_{k.o} = 8 \text{ m}$

Räystää: $l_r := 800 \text{ mm}$

Tässä laskelmassa on esitetty mitoittavaksi todetut kuormitustapaukset.

Kuormat:**Vertikaalikuormat:**

$$\text{Lumikuorma katolla:} \quad q_{k1} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Katon omapaino + ripustus:} \quad g_{k1.a} := 0.7 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Palkin omapaino:} \quad g_{k1.b} := 0.313 \frac{kN}{m}$$

Horisontaalikuormat:

$$\text{Tuuli:} \quad q_{k2.a} := 0.344 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Tuuli (imu):} \quad q_{k2.b} := 0.129 \frac{kN}{m^2}$$

Kiepahdustuentavoima:

$$\text{Omapaino:} \quad Q_{g.k} := 0.145 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Lumikuorma:} \quad Q_{q.k} := 0.344 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Linjoja jophon vaikuttaa:} \quad n := 8$$

Mastopilarien jäykkyyden suhde:

$$\text{P8:} \quad I_{y.1} := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = (2.493 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad k_1 := \frac{I_{y.1}}{L_1^3} \cdot 100 = 0.6279 \text{ mm}$$

$$\text{P9:} \quad I_{y.2} := \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = (2.493 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad k_2 := \frac{I_{y.2}}{L_2^3} \cdot 100 = 0.6279 \text{ mm}$$

$$\text{P10:} \quad I_{y.3} := \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12} = (2.165 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad k_3 := \frac{I_{y.3}}{L_3^3} \cdot 100 = 0.7705 \text{ mm}$$

$$\Sigma k := k_1 + k_2 + k_3 = 2.026 \text{ mm}$$

$$k_{1.m} := \frac{k_1}{\Sigma k} = 0.31 \quad k_{2.m} := \frac{k_2}{\Sigma k} = 0.31 \quad k_{3.m} := \frac{k_3}{\Sigma k} = 0.38$$

Omapaino:

Pilarille P8: $N_{g.k.1} := s \cdot g_{k1.a} \cdot K_1 + g_{k1.b} \cdot K_1 + s \cdot g_{k1.a} \cdot l_r = 22.315 \text{ kN}$

Pilarille P9: $N_{g.k.2} := s \cdot g_{k1.a} \cdot K_2 + g_{k1.b} \cdot K_2 + s \cdot g_{k1.a} \cdot l_r = 20.058 \text{ kN}$

Pilarille P10: $N_{g.k.3} := s \cdot g_{k1.a} \cdot K_3 + g_{k1.b} \cdot K_3 + s \cdot g_{k1.a} \cdot l_r = 18.704 \text{ kN}$

Lisävaakavoima:
$$H_{gt.k.a} := \max \left(\left[\frac{B_R}{L_R} \cdot \frac{N_{g.k.1} + N_{g.k.2} + N_{g.k.3}}{150} \right], \left[\frac{N_{g.k.1} + N_{g.k.2} + N_{g.k.3}}{250} \right] \right) = 244.308 \text{ N}$$

Kiepahdustuennasta: $H_{gt.k.b} := s \cdot Q_{g.k} \cdot n = 6.96 \text{ kN}$

$$H_{gt.k} := H_{gt.k.a} + H_{gt.k.b} = 7.204 \text{ kN}$$

Lisävaakavoiman aiheuttama momentti:

Pilarille P8: $M_{g.k.1} := H_{gt.k} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 16.409 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pilarille P9: $M_{g.k.2} := H_{gt.k} \cdot L_2 \cdot k_{2.m} = 16.409 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pilarille P10: $M_{g.k.3} := H_{gt.k} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 17.943 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Lumi:

Pilarille P8: $N_{q.k.1} := s \cdot q_{k1} \cdot K_1 + s \cdot q_{k1} \cdot l_r = 60 \text{ kN}$

Pilarille P9: $N_{q.k.2} := s \cdot q_{k1} \cdot K_2 + s \cdot q_{k1} \cdot l_r = 54 \text{ kN}$

Pilarille P10: $N_{q.k.3} := s \cdot q_{k1} \cdot K_3 + s \cdot q_{k1} \cdot l_r = 50.4 \text{ kN}$

Lisävaakavoima:
$$H_{qt.k.a} := \max \left(\left[\frac{B_R}{L_R} \cdot \frac{N_{q.k.1} + N_{q.k.2} + N_{q.k.3}}{150} \right], \left[\frac{N_{q.k.1} + N_{q.k.2} + N_{q.k.3}}{250} \right] \right) = 657.6 \text{ N}$$

Kiepahdustuennasta:
$$H_{qt.k.b} := s \cdot Q_{q.k} \cdot n = 16.512 \text{ kN}$$

$$H_{qt.k} := H_{qt.k.a} + H_{qt.k.b} = 17.17 \text{ kN}$$

Lisävaakavoiman aiheuttama momentti:

Pilarille P8:
$$M_{q.k.1} := H_{qt.k} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 39.106 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarille P9:
$$M_{q.k.2} := H_{qt.k} \cdot L_2 \cdot k_{2.m} = 39.106 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarille P10:
$$M_{q.k.3} := H_{qt.k} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 42.762 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tuuli:

Tuulikuorma:
$$W_{1.k} := s \cdot q_{k2.a} = 2.064 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tuulikuorma (imu):
$$W_{2.k} := s \cdot q_{k2.b} = 0.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Katorakenteen tuulikuorma (oikea):
$$F_{1.k.o} := W_{1.k} \cdot l_{k.o} = 2.993 \text{ kN}$$

$$F_{2.k.o} := W_{2.k} \cdot l_{k.o} = 1.122 \text{ kN}$$

Katorakenteen tuulikuorma (vasen):
$$F_{1.k.v} := W_{1.k} \cdot l_{k.v} = 1.342 \text{ kN}$$

$$F_{2.k.v} := W_{2.k} \cdot l_{k.v} = 0.503 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma (oikea):

$$W_{\Sigma k.o} := \frac{W_{1.k} \cdot L_1 + W_{2.k} \cdot L_1}{2} + F_{1.k.o} + F_{2.k.o} = 14.545 \text{ kN}$$

Kokonaistuulikuorma (vasen):

$$W_{\Sigma k.v} := \frac{W_{1.k} \cdot L_3 + W_{2.k} \cdot L_3}{2} + F_{1.k.v} + F_{2.k.v} = 11.139 \text{ kN}$$

Käytetään suurempaa arvoa molemmille puolille.

Pilari P8:

$$M_{w.k.1} := W_{\Sigma k.o} \cdot L_1 \cdot k_{1.m} = 33.127 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{w.k.1} := (L_1 \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{1.m} = 7.739 \text{ kN}$$

Pilari P9:

$$M_{w.k.2} := W_{\Sigma k.o} \cdot L_2 \cdot k_{2.m} = 33.127 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{w.k.2} := (L_1 \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{2.m} = 7.739 \text{ kN}$$

Pilari P10:

$$M_{w.k.3} := W_{\Sigma k.o} \cdot L_3 \cdot k_{3.m} = 36.225 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{w.k.3} := (L_1 \cdot (W_{1.k} + W_{2.k}) + F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{3.m} = 9.496 \text{ kN}$$

KT2 100%op + 70% lumi + 100% tuuli

$$\psi_{0.Q} := 0.7$$

$$\psi_{0.W} := 1.0$$

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

$$k_{mod} := 1.1$$

Liimapuun materiaalilujuudet:

Taivutuslujuus:	$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$	$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$
Vetolujuus:	$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 17.16 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.44 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus:	$f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 21.56 \frac{N}{mm^2}$
	$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$
Leikkauslujuus:	$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$	$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 3.08 \frac{N}{mm^2}$
Kimmomoduuli:	$E_{0.mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$	$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$
Liukukerroin:	$G_{0.mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$	$G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$

PILARI P8:

$$b := b_1 = 190 \text{ mm}$$

$$h := h_1 = 540 \text{ mm}$$

$$L := L_1 = 7.35 \text{ m}$$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.1} = 88.662 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} \cdot k_{1.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{1.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k.1} = 19.762 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k.1} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k.1} = 109.622 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.026 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 18.375 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 7.35 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.493 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (3.087 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 54.848 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 117.876$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 134.006$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.787$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 2.032$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 2.171$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2.65$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.294 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.23 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 0.864 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 11.872 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 58.613\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 48.922\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 7.35 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.88 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 85.952 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.591$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 37.666\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 190 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.289 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 9.381\%$$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{1.m} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 9.116 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{1.m} \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 21.727 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{((W_{1.k} + W_{2.k}) \cdot k_{1.m}) \cdot L_1^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{((F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{1.m}) \cdot L_1^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 15.106 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 14.586 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 15.106 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 7.476 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 37.168 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot.v}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 69.689\%$$

PILARI P9:

$$b := b_2 = 190 \text{ mm} \quad h := h_2 = 540 \text{ mm} \quad L := L_2 = 7.35 \text{ m}$$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k.2} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.2} = 79.767 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} \cdot k_{2.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{gt.k} \cdot k_{2.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k.2} = 19.762 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k.2} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k.2} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k.2} = 109.622 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (1.026 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 18.375 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 7.35 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.493 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (3.087 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 54.848 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 117.876$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 134.006$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.787$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 2.032$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 2.171$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2.65$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.294 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.23 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 0.777 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 11.872 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 57.244\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 47.172\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 7.35 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.88 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 85.952 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.591$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 35.916\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 190 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.289 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$

$$ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 9.381\%$$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{2.m} \cdot L_2^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 9.116 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{2.m} \cdot L_2^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 21.727 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{((W_{1.k} + W_{2.k}) \cdot k_{2.m}) \cdot L_2^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{((F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{2.m}) \cdot L_2^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 15.106 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 14.586 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 15.106 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 7.476 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 37.168 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot.v}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 69.689\%$$

PILARI P10:

$$b := b_3 = 165 \text{ mm} \quad h := h_3 = 540 \text{ mm} \quad L := L_3 = 6.55 \text{ m}$$

Kuormat:

$$N_d := 1.15 \cdot N_{g.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot N_{q.k.3} = 74.43 \text{ kN}$$

$$V_d := 1.15 \cdot H_{gt.k} \cdot k_{3.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{3.m} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot V_{w.k.3} = 24.25 \text{ kN}$$

$$M_{d.max} := 1.15 \cdot M_{g.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.Q} \cdot M_{q.k.3} + 1.5 \cdot \psi_{0.W} \cdot M_{w.k.3} = 119.872 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pakkileikkausala:

$$A := b \cdot h = (8.91 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Nurjahduspituus:

$$L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 16.375 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 6.55 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = (2.165 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 155.885 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} = (2.021 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 47.631 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 105.046$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 137.514$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 1.593$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0,k}}{E_{0.05}}} = 2.085$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.833$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2.762$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.365 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.219 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0,d} := \frac{N_d}{A} = 0.835 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m.y,d} := \frac{6 \cdot M_{d,max}}{b \cdot h^2} = 14.949 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y} \cdot f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 67.239\%$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 57.362\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.55 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 72.739 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.642$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d}}{k_{crit} \cdot f_{m.d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} \cdot f_{c.0.d}} = 49.788\%$$

Leikkauskestävyys:

$k_{cr} := 1.0$ (liimapuu) $b_{ef} := k_{cr} \cdot b = 165 \text{ mm}$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.408 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v.d} = 1$ $ka := \frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 13.255\%$

Mastopilarikehän siirtymä:

Hetkellinen taipuma pysyvistä:

$$W_{inst.G} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{3.m} \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 9.116 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormasta:

$$W_{inst.Q} := \frac{H_{gt.k} \cdot k_{3.m} \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 21.727 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$W_{inst.W} := \frac{((W_{1.k} + W_{2.k}) \cdot k_{3.m}) \cdot L_3^4}{8 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} + \frac{((F_{1.k.o} + F_{2.k.o}) \cdot k_{3.m}) \cdot L_3^3}{3 \cdot E_{0.mean} \cdot I_y} = 14.028 \text{ mm}$$

Virumaluku: $k_{def} := 0.6$ (liimapuu, käyttöluokka 1)Liikkuvan kuorman muuttuva osuus: $\psi_{2.Q} := 0.2$ $\psi_{2.W} := 0$

Lopputaipuma:

$$W_{net.fin.G} := (1 + k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 14.586 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.W} := (1 + \psi_{2.W} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.W} = 14.028 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin.Q} := (\psi_{0.Q} + \psi_{2.Q} \cdot k_{def}) \cdot W_{inst.G} = 7.476 \text{ mm}$$

$$W_{net.fin} := W_{net.fin.G} + W_{net.fin.W} + W_{net.fin.Q} = 36.09 \text{ mm}$$

$$\text{Mitoitusehto: } W_{net.fin.sall} := \frac{H_{tot.v}}{150} = 53.333 \text{ mm} \quad ka := \frac{W_{net.fin}}{W_{net.fin.sall}} = 67.669\%$$

Palotilanne:**Palotilanteen materiaalilujuus:**

$$k_{mod.fi} := 1.0$$

$$\gamma_{M.fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

Taivutuslujuus: $f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$ $f_{m.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{m.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$

Vetolujuus: $f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{t.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 22.425 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{t.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{t.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 0.575 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuslujuus: $f_{c.0.k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{c.0.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.0.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 28.175 \frac{N}{mm^2}$

$$f_{c.90.k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c.90.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{c.90.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 2.875 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus: $f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$ $f_{v.d.fi} := k_{mod.fi} \cdot \frac{f_{v.k} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M.fi}} = 4.025 \frac{N}{mm^2}$

Kimmomoduuli: $E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$ $E_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot E_{0.05} = (1.242 \cdot 10^4) \frac{N}{mm^2}$

Liukukerroin: $G_{0.05} := 540 \frac{N}{mm^2}$ $G_{0.05.fi} := k_{fi} \cdot G_{0.05} = 621 \frac{N}{mm^2}$

Palotilanteen tehollinen poikkileikkaus:

$$\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min} \quad t := 30 \text{ min}$$

Nimellinen hiiltemissävyys: $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

$$d_0 := 7 \text{ mm} \quad k_0 := 1.0$$

$$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$$

KT5 100%op + 20% lumi + 20% tuuli Lumi: $\psi_{2.Q} := 0.2$

PILARI P8: Tuuli: $\psi_{1.W} := 0.2$

Poikkileikkaus:

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h_1 - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b_1 - 2 \cdot d_{ef} = 134 \text{ mm}$$

Kuormat:

$$N_{d.fi} := N_{g.k.1} + \psi_{2.Q} \cdot N_{q.k.1} = 34.315 \text{ kN}$$

$$V_{d.fi} := H_{gt.k} \cdot k_{1.m} + \psi_{2.Q} \cdot H_{qt.k} \cdot k_{1.m} + \psi_{1.W} \cdot V_{w.k.1} = 4.844 \text{ kN}$$

$$M_{d.max.fi} := M_{g.k.1} + \psi_{2.Q} \cdot M_{q.k.1} + \psi_{1.W} \cdot M_{w.k.1} = 30.855 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pökkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (6.486 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c.z} := 2.5 \cdot L = 16.375 \text{ m}$

$$L_{c.y} := 1.0 \cdot L = 6.55 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.266 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (9.705 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 38.682 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c.z}}{i_y} = 117.2$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c.y}}{i_z} = 169.327$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel.y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.777$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 2.567$$

$\beta_c := 0.1$ (sauvan alkukäyrästä riippuva kerroin, liimapuu)

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2) = 2.152$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 3.908$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.297 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.146 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 0.529 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 5.898 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 23.418\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 24.84\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.55 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 53.525 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.749$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 15.796\%$$

PILARI P9:**Poikkileikkaus:**

$$\text{Palo neljältä sivulta:} \quad h_{fi} := h_2 - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$$

$$b_{fi} := b_2 - 2 \cdot d_{ef} = 134 \text{ mm}$$

Kuormat:

$$N_{d,fi} := N_{g,k,2} + \psi_{2,Q} \cdot N_{q,k,2} = 30.858 \text{ kN}$$

$$V_{d,fi} := H_{gt,k} \cdot k_{2,m} + \psi_{2,Q} \cdot H_{qt,k} \cdot k_{2,m} + \psi_{1,W} \cdot V_{w,k,2} = 4.844 \text{ kN}$$

$$M_{d,max,fi} := M_{g,k,2} + \psi_{2,Q} \cdot M_{q,k,2} + \psi_{1,W} \cdot M_{w,k,2} = 30.855 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

$$\text{Pilarin pökkileikkausala:} \quad A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (6.486 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\text{Nurjahduspituus:} \quad L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 16.375 \text{ m}$$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 6.55 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.266 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (9.705 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 38.682 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 117.2$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 169.327$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = 1.777$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = 2.567$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyrästä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 2.152$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 3.908$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.297 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.146 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 0.476 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 5.898 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 22.781\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 23.544\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.55 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 53.525 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.749$

$k_{crit} := 1$, kun $\lambda_{rel.m} \leq 0.75$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 14.499\%$$

PILARI P10:**Poikkileikkaus:**

Palo neljältä sivulta: $h_{fi} := h_3 - 2 \cdot d_{ef} = 484 \text{ mm}$

$$b_{fi} := b_3 - 2 \cdot d_{ef} = 109 \text{ mm}$$

Kuormat:

$$N_{d,fi} := N_{g,k,3} + \psi_{2,Q} \cdot N_{q,k,3} = 28.784 \text{ kN}$$

$$V_{d,fi} := H_{gt,k} \cdot k_{3,m} + \psi_{2,Q} \cdot H_{qt,k} \cdot k_{3,m} + \psi_{1,W} \cdot V_{w,k,3} = 5.944 \text{ kN}$$

$$M_{d,max,fi} := M_{g,k,3} + \psi_{2,Q} \cdot M_{q,k,3} + \psi_{1,W} \cdot M_{w,k,3} = 33.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys:

Pilarin pölkileikkausala: $A_{fi} := b_{fi} \cdot h_{fi} = (5.276 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$

Nurjahduspituus: $L_{c,z} := 2.5 \cdot L = 16.375 \text{ m}$

$$L_{c,y} := 1.0 \cdot L = 6.55 \text{ m}$$

$$I_y := \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = (1.03 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_{fi}}} = 139.719 \text{ mm}$$

$$I_z := \frac{h_{fi} \cdot b_{fi}^3}{12} = (5.223 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A_{fi}}} = 31.466 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda_y := \frac{L_{c,z}}{i_y} = 117.2$$

$$\lambda_z := \frac{L_{c,y}}{i_z} = 208.164$$

Muunnettu hoikkuusluku:

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = 1.777$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = 3.156$$

$$\beta_c := 0.1 \quad (\text{sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin, liimapuu})$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 2.152$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 5.623$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.297 \quad k_{c,y} \leq 1 = 1$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.097 \quad k_{c,z} \leq 1 = 1$$

$$k_m := 0.7$$

$$\sigma_{c.0.d.fi} := \frac{N_{d.fi}}{A_{fi}} = 0.546 \frac{N}{mm^2} \quad \sigma_{m.y.d.fi} := \frac{6 \cdot M_{d.max.fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = 7.928 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1 \quad \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} \leq 1 = 1$$

$$ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c.0.d.fi}} + \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 29.501\% \quad ka := \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{f_{m.d.fi}} = 35.987\%$$

Kiepahduskestävyys:

Kiepahdustuentaväli: $a := L = 6.55 \text{ m}$

Tehollinen kiepahdustuentaväli: $l_{ef} := 0.8 \cdot L = 5.24 \text{ m}$

$c := 0.7$ (liimapuu GL30c)

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys:

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 35.416 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteellinen hoikkuus: $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.92$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} \quad , \text{ kun } 0.75 < \lambda_{rel.m} \leq 1.4$$

Mitoitusehto: $\left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} \leq 1 = 1$

$$ka := \left(\frac{\sigma_{m.y.d.fi}}{k_{crit} \cdot f_{m.d.fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c.0.d.fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c.0.d.fi}} = 26.882\%$$